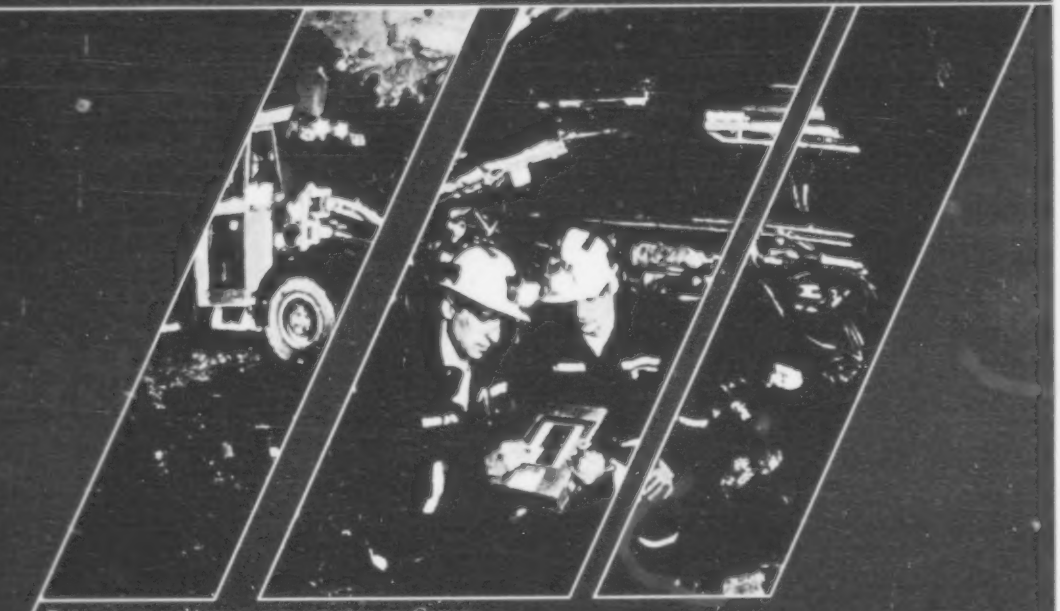
PEEIC

ANALYSE COMPARATIVE DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE

DES MINES SOUTERRAINES TOUTES TENEURS DU CANADA



Préparé pour l'Association minière du Canada
et Ressources naturelles Canada

Ressources naturelles Canada
Natural Resources Canada

Canada

105-07195/

Pour obtenir plus de renseignements ou des exemplaires supplémentaires de cette publication, veuillez vous adresser à :

Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne
a/s de Ressources naturelles Canada
580 rue Booth, 18e étage
Ottawa (Ontario) K1A 0E4

Tél. : (613) 995-6839
Télécopieur : (613) 992-3161
Courriel : cipec-peeic@rncan.gc.ca
Site web : oee.rncan.gc.ca/cipec/peel

ou

L'Association minière du Canada
350, rue Sparks, bureau 1105
Ottawa (Ontario) K1R 7S8

Tél. : (613) 233-9391
Télécopieur : (613) 233-8897
Site Web : www.mining.ca

Catalogage avant publication de Bibliothèque et Archives Canada

Vedette principale au titre :

Analyse comparative de la consommation d'énergie des mines souterraines toutes teneurs du Canada

Publ. aussi en anglais sous le titre : Benchmarking the energy consumption of Canadian underground bulk mines.

ISBN 0-662-79189-4
N° de cat. M144-71/2005F

1. Mines – Énergie – Consommation – Canada.
2. Mines – Économies d'énergie – Canada.
3. Technique minière – Énergie – Consommation – Canada.
4. Technique mininière – Économies d'énergie – Canada.
5. Économies d'énergie – Canada.
6. Énergie – Consommation – Canada.
7. Évaluation énergétique – Canada.
I. Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne.
II. Association minière du Canada.

TN275.A2B46 2005 622'.2'086 C2005-980104-2

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2005

Papier recyclé

AVANT-PROPOS

Au nom du Groupe de travail de l'exploitation minière du Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne (PEEIC), l'Association minière du Canada (AMC) a retenu les services de la firme Competitive Analysis Centre Inc. pour collaborer avec les entreprises minières afin d'établir des données de référence énergétiques pour l'exploitation minière souterraine toutes teneurs. Les entreprises participant à ce projet ont assumé le coût des services de consultation sur place et reçu des rapports individualisés sur les observations.

Le PEEIC comprend 26 groupes de travail représentant les divers secteurs industriels du Canada. Il constitue un partenariat d'associations industrielles et du gouvernement du Canada, représenté par l'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada. Le Groupe de travail comprend des membres du Comité de l'énergie de l'AMC. Les groupes de travail du PEEIC servent de centres de coordination afin de déterminer le rendement énergétique potentiel et les possibilités d'améliorer le rendement réel, en établissant des objectifs d'efficacité énergétique pour chaque secteur, en décelant les obstacles et en trouvant des solutions pertinentes pour les éliminer, et en élaborant et en mettant en œuvre des stratégies pour atteindre les objectifs.

Le présent document fait partie d'une série de publications de l'AMC qui témoignent de l'engagement de l'industrie de l'exploitation minière en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre – un engagement essentiel à notre bien-être collectif. Parmi nos membres, de bonnes pratiques énergétiques sont tout simplement acceptées comme étant de bonnes pratiques commerciales.

Engager les Canadiens sur la voie de l'efficacité énergétique à la maison, au travail et sur la route

L'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada renforce et élargit l'engagement du Canada envers l'efficacité énergétique afin d'aider à relever les défis posés par les changements climatiques.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION 1
- 1.1 Contexte 2
- 1.2 Approche 2
- 1.3 Comparaisons à l'échelle internationale 3
- 1.4 Présentation du rapport 3

2. MÉTHODOLOGIE 5
- 2.1 Limites de l'analyse 6
  - 2.1.1 Métaux de base 6
  - 2.1.2 Or 6
- 2.2 Comparaisons à l'échelle internationale 7
  - 2.2.1 Échantillon 8
- 2.3 Échantillon de l'Association minière du Canada (AMC) 9
  - 2.3.1 Analyse : aperçu 10
  - 2.3.2 Analyse : coûts énergétiques comparatifs 12
  - 2.3.3 Analyse : activités souterraines 13
  - 2.3.4 Analyse : activités en surface – récupération de l'or 15
  - 2.3.5 Analyse : activités en surface – broyage des métaux de base 17
  - 2.3.6 Frais généraux et administratifs 19
- 2.4 Analyse des émissions de gaz à effet de serre 20

3. COÛTS ÉNERGÉTIQUES : PAYS CONCURRENTS 21
- 3.1 Or 22
  - 3.1.1 Coûts énergétiques moyens par tonne de minerai extrait 22
  - 3.1.2 Coûts énergétiques moyens par tonne de minerai broyé 23
  - 3.1.3 Coûts énergétiques par once d'or produite 23
- 3.2 Cuivre 24
  - 3.2.1 Coûts énergétiques moyens par tonne de minerai extrait 24
  - 3.2.2 Coûts énergétiques moyens par tonne de concentré produit 25
  - 3.2.3 Coûts énergétiques moyens par livre de cuivre produite 26
- 3.3 Plomb et zinc 26
  - 3.3.1 Coûts énergétiques moyens par tonne de minerai extrait 27
  - 3.3.2 Coûts énergétiques moyens par tonne de concentré produit 27
  - 3.3.3 Coûts énergétiques par livre exploitable de plomb et de zinc produits . . . 28
- 3.4 Résumé 29

4. RÉSULTATS : MINES PARTICIPANTES REPÈRES 31
4.1 Coûts énergétiques comparatifs 32
4.2 Exploitation minière : coûts énergétiques comparatifs des mines particulières 34
4.2.1 Total pour l'exploitation des mines souterraines 34
4.2.2 Exploitation minière souterraine : stades de production 36
4.3 Opérations de concentration : métaux de base 47
4.3.1 Coûts énergétiques totaux : concentration 47
4.3.2 Coûts énergétiques : concentration – stade de production 48
4.4 Opérations de récupération de l'or 56
4.4.1 Total des coûts énergétiques : récupération de l'or 56
4.4.2 Coûts énergétiques : récupération de l'or – stade de production 57

5. ÉCONOMIES POTENTIELLES : ATTEINDRE LES NIVEAUX REPÈRES 67
5.1 Contexte 68
5.2 Exploitation minière : économies énergétiques potentielles 69
5.3 Économies potentielles : concentration 69
5.4 Économies potentielles : récupération de l'or 70

ANNEXE 71
ANNEXE 2-1 – Mines souterraines incluses dans l'échantillon 72

1 INTRODUCTION

2

1. INTRODUCTION

1.1 Contexte

Les coûts énergétiques représentent une partie importante du total des coûts d'exploitation du secteur minier au Canada. Directement et indirectement, la consommation d'énergie du secteur minier contribue de façon importante aux émissions de gaz à effet de serre (GES) du Canada. Il existe donc des motifs impérieux d'ordre économique et environnemental pour que les entreprises d'extraction et de broyage de minerai procèdent à un examen approfondi de leur consommation d'énergie.

L'Association minière du Canada (AMC) a commandité ce projet d'analyse comparative énergétique. Ce dernier est centré sur une comparaison détaillée de la consommation d'énergie liée aux principales activités d'extraction et de concentration du minerai. L'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada (RNCan) a prêté son concours dans le cadre de cette étude, qui fait partie des efforts constants de RNCan en vue de promouvoir l'utilisation plus efficace de l'énergie au Canada.

1.2 Approche

La présente analyse est centrée sur les activités d'extraction et de concentration du minerai des mines souterraines toutes teneurs dont les entreprises font partie de l'AMC. Onze établissements d'extraction ou de broyage du minerai ont participé au projet, et l'échantillon comprenait des établissements consacrés tant aux métaux de base qu'aux métaux précieux.

Le projet comprenait une comparaison détaillée entre établissements portant sur l'énergie consommée pour l'extraction (du forage jusqu'au levage) et la concentration (du broyage jusqu'au transport automatique) du minerai. Nous avons examiné environ 20 catégories de données sur les coûts et la consommation d'énergie.

Étant donné les écarts observés entre les établissements de métaux de base et de métaux précieux, nous avons réparti les comparaisons énergétiques dans ces deux catégories.

1.3 Comparaisons à l'échelle internationale

Il a été convenu avec les membres de l'AMC qu'il importait de situer l'analyse canadienne détaillée dans le contexte international. En particulier, l'un des objectifs était de comparer les coûts énergétiques par unité (p. ex., $ par tonne extraite) des établissements canadiens avec ceux d'autres pays concurrents comme l'Australie ou les États-Unis.

Avec l'aide de RNCan et de la société AME Mineral Economics, le Competitive Analysis Centre Inc. (CACI) a pu comparer les coûts énergétiques d'un échantillon de mines canadiennes avec ceux d'un échantillon d'autres pays dans le cas des mines d'or, de cuivre et de plomb/zinc.

1.4 Présentation du rapport

Nous commençons par exposer notre méthodologie dans le **chapitre 2**. Nous décrivons notre façon d'élaborer les comparaisons de coûts énergétiques ($/tonne extraite, $/tonne broyée [ou de concentré], $/unité de métal produit) entre les établissements canadiens et ceux d'autres pays concurrents. Ce chapitre est centré sur la présentation d'un survol de l'analyse comparative énergétique pour étudier les activités des participants canadiens.

Le **chapitre 3** présente les résultats de l'analyse de la compétitivité des coûts énergétiques unitaires des mines canadiennes par rapport à ceux des mines d'autres pays.

Les résultats de l'analyse comparative détaillée des coûts et de la consommation d'énergie des 11 établissements participants figurent au **chapitre 4**. Les comparaisons entre établissements sont présentées aux niveaux de la mine et de l'usine de broyage, de même que pour chaque stade de production.

Le **chapitre 5** présente les économies potentielles estimatives que pourraient atteindre les établissements, selon une comparaison des coûts de chaque participant avec ceux de l'entreprise ayant les coûts les moins élevés.

2 MÉTHODOLOGIE

6

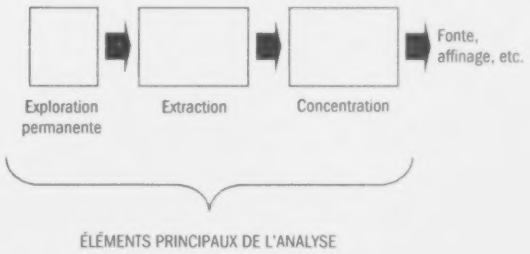
2. MÉTHODOLOGIE

2.1 Limites de l'analyse

La présente section décrit les éléments principaux de l'analyse comparative des coûts énergétiques et de la consommation.

2.1.1 Métaux de base

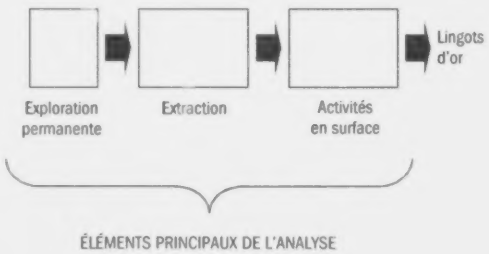
L'analyse énergétique des établissements de métaux de base au Canada a été centrée sur les activités d'extraction et de broyage, y compris l'exploration permanente dans les mines existantes. Les opérations de fonte et d'affinage ont été exclues.



Il a été possible d'établir des comparaisons à l'échelle internationale dans les cas du cuivre et du plomb/zinc, mais pas du nickel. Les comparaisons des coûts énergétiques indiquent le coût par tonne de minerai extrait, le coût par tonne de concentré et le coût par livre de métal.

2.1.2 Or

Les comparaisons des établissements aurifères canadiens englobent les activités d'extraction et les activités en surface (du concassage à la production de lingots d'or).



Les comparaisons à l'échelle internationale incluent le coût par tonne de minerai extrait, le coût par tonne de minerai broyé et le coût par once troy d'or produite.

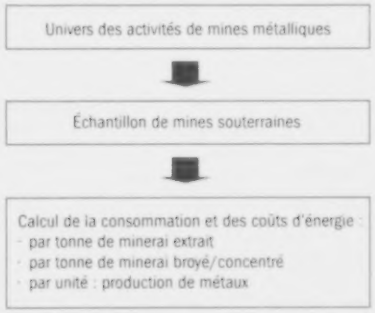
2.2 Comparaisons à l'échelle internationale

La comparaison des coûts énergétiques des mines canadiennes et de leurs concurrents internationaux est d'un grand intérêt pour toutes les mines qui participent à cette analyse parrainée par l'Association minière du Canada. Avec l'aide de RNCan, la firme CACI a obtenu les données nécessaires pour comparer les mines souterraines toutes teneurs du Canada avec celles des pays concurrents dans le cas des métaux suivants : l'or, le cuivre et le plomb/zinc. Les comparaisons des coûts énergétiques sont basées sur des enquêtes sur les coûts miniers effectuées par la société AME Mineral Economics[1].

Les comparaisons des coûts énergétiques se limitent aux pays où des données comparables existent à ce sujet; les comparaisons avec la Chine et la Russie sont donc impossibles. Les comparaisons se limitent à l'activité minière souterraine. Des coûts énergétiques comparatifs ont été déterminés pour les mines souterraines canadiennes et les installations souterraines des pays suivants :

OR	CUIVRE	PLOMB/ZINC
Australie	Australie	Australie
Afrique du Sud	Chili	Pérou
États-Unis		États-Unis

Pour chacun des pays ci-dessus, le calcul des coûts énergétiques a fait appel aux étapes suivantes pour chacune des trois catégories de métaux ci-dessus.



1 AME Mineral Economics, *Lead and Zinc 2000, Gold 2000* et *Copper 2000 – Mine Costs 1994-2005*, 1999.

2.2.1 Échantillon

Les comparaisons à l'échelle internationale des mines souterraines dans la présente étude se limitent aux cinq premiers pays producteurs de métaux. Vous trouverez ci-dessous une description de l'échantillon dans le cas de l'or, du cuivre et du plomb/zinc. Cette description comprend ce qui suit : le pays producteur, le nombre de mines dans l'échantillon, la production des mines de l'échantillon, la production intérieure totale de chaque pays, le pourcentage de la production intérieure représenté par l'échantillon, et la production de chaque pays en pourcentage de la production mondiale. Vous trouverez la liste complète des mines pour chaque métal et chaque pays à l'annexe 2-1 (p. 72 à 75). Dans le cas des pays où la couverture de l'échantillon est faible, les principaux producteurs sont des mines à ciel ouvert.

Or

Tableau 2.1 – Description de l'échantillon : mines d'or

Pays	Nombre de mines dans l'échantillon	Production d'or de l'échantillon (milliers d'onces)	Production intérieure totale (milliers d'onces)	Part de la production intérieure de l'échantillon (%)	Production intérieure en % de la production mondiale
			1999		
Canada	14	2 483,4	5 235,6	47,4	6,3
Australie	11	1 604,0	10 053,6	16,0	12,1
Afrique du Sud	27	11 530,0	14 357,6	80,3	17,3
États-Unis	5	1 520,9	11 563,2	13,2	13,9

SOURCE : AME MINERAL ECONOMICS, *GOLD 2000*.

Cuivre

Tableau 2.2 – Description de l'échantillon : mines de cuivre

Pays	Nombre de mines dans l'échantillon	Production de cuivre de l'échantillon (milliers de tonnes)	Production intérieure totale (milliers de tonnes)	Part de la production intérieure de l'échantillon (%)	Production intérieure en % de la production mondiale
			1999		
Canada	5	653,1	705,2	92,6	5,8
Australie	5	424,1	604,0	70,2	5,0
Chili	4	416,0	3 687,0	11,3	30,3

SOURCES : AME MINERAL ECONOMICS, *COPPER 2000*; RNCAN, *ANNUAIRE DES MINÉRAUX DU CANADA*, 1998.

Plomb/zinc

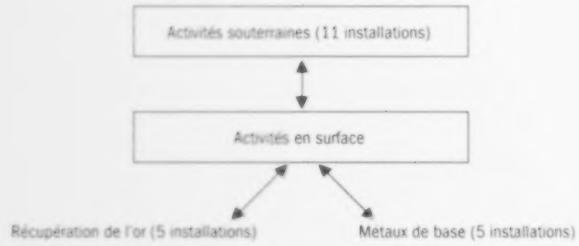
Tableau 2.3 – Description de l'échantillon : mines de plomb/zinc

Pays	Nombre de mines dans l'échantillon	Production de plomb/zinc de l'échantillon (milliers de tonnes)	Production intérieure totale (milliers de tonnes)	Part de la production intérieure de l'échantillon (%)	Production intérieure en % de la production mondiale
			1999		
Canada	11	1 029,9	1 245,7	82,7	22,5
Australie	11	1 543,9	1 563,9	98,7	28,3
Pérou	6	518,0	570,5	90,8	10,3
États-Unis	7	551,1	1 072,9	51,4	19,4

SOURCES : AME MINERAL ECONOMICS, *LEAD & ZINC 2000*. LES DONNÉES DE PRODUCTION SONT POUR L'ANNÉE 1999. STATISTIQUE CANADA – N° DE CAT. 26-202-XIB.

2.3 Échantillon de l'Association minière du Canada (AMC)

En tout, 11 établissements ont participé à ce projet. Chaque étude de cas englobait une mine souterraine toutes teneurs. Pour 10 des 11 mines, des données sur l'énergie ont été fournies au sujet des activités en surface. Celles-ci incluaient 5 installations de récupération produisant des lingots d'or et 5 installations d'exploitation de métaux de base produisant des concentrés.



2.3.1 Analyse : aperçu

L'objectif de l'analyse consiste à comparer en détail les installations en ce qui a trait aux coûts unitaires et à la consommation d'énergie unitaire pour :

Activités souterraines

Toutes les activités, y compris le transport du minerai vers un broyeur en surface. Nous comparerons 11 installations.

Activités en surface

Des analyses distinctes seront effectuées pour :

a) les opérations de récupération de l'or : nous comparerons la consommation d'énergie et les coûts de 5 installations de récupération de l'or, du broyage jusqu'à l'affinage;

b) les opérations de traitement des métaux de base : nous comparerons la consommation d'énergie et les coûts de 5 installations de traitement de minéraux de métaux de base, du concassage jusqu'au séchage.

Activités combinées

Les totaux de la consommation d'énergie et des coûts feront l'objet de comparaisons distinctes dans le cas des 5 établissements d'extraction et d'affinage de l'or et celui des 5 établissements d'exploitation de métaux de base.

Dans tous les cas, la consommation d'énergie sera exprimée en équivalent kilowattheures (éq kWh). Les facteurs d'équivalence pour d'autres sources d'énergie sont présentés ci-dessous.

Tableau 2.4 – Facteurs de conversion en éq kWh

Source d'énergie	Unité	éq kWh/unité
Diesel	L	10,74
Essence	L	9,63
Gaz naturel	m^3	10,31
Explosifs	kg	1,06
Mazout léger	L	10,40
Mazout C	L	11,59

Les comparaisons entre établissements s'appuient sur les coûts unitaires suivants et la désagrégation en composants pour les installations souterraines et les installations en surface.

Souterraines

$$\left[\frac{\$}{\text{tonne de minerai extrait}}\right] = \left[\frac{\$}{\text{éq kWh}}\right] \times \left[\frac{\text{éq kWh}}{\text{tonne de minerai extrait}}\right]$$

En surface

a) Or

$$\left[\frac{\$}{\text{tonne broyée}}\right] = \left[\frac{\$}{\text{éq kWh}}\right] \times \left[\frac{\text{éq kWh}}{\text{tonne broyée}}\right]$$

b) Métaux de base

$$\left[\frac{\$}{\text{tonne broyée}}\right] = \left[\frac{\$}{\text{éq kWh}}\right] \times \left[\frac{\text{éq kWh}}{\text{tonne broyée}}\right]$$

Total du complexe

En ce qui a trait au **total du complexe**, les coûts énergétiques unitaires et la consommation d'énergie correspondront au cumul des données ci-dessus. Vu que certaines installations en surface traitent le minerai provenant de plus d'une mine, les données pour le total du complexe sont basées sur :

- les coûts d'extraction de l'établissement étudié;
- les coûts (et la consommation) moyens d'énergie utilisée dans les activités en surface.

Étant donné les hypothèses ci-dessus, le total des coûts énergétiques peut se répartir comme suit :

a) Or

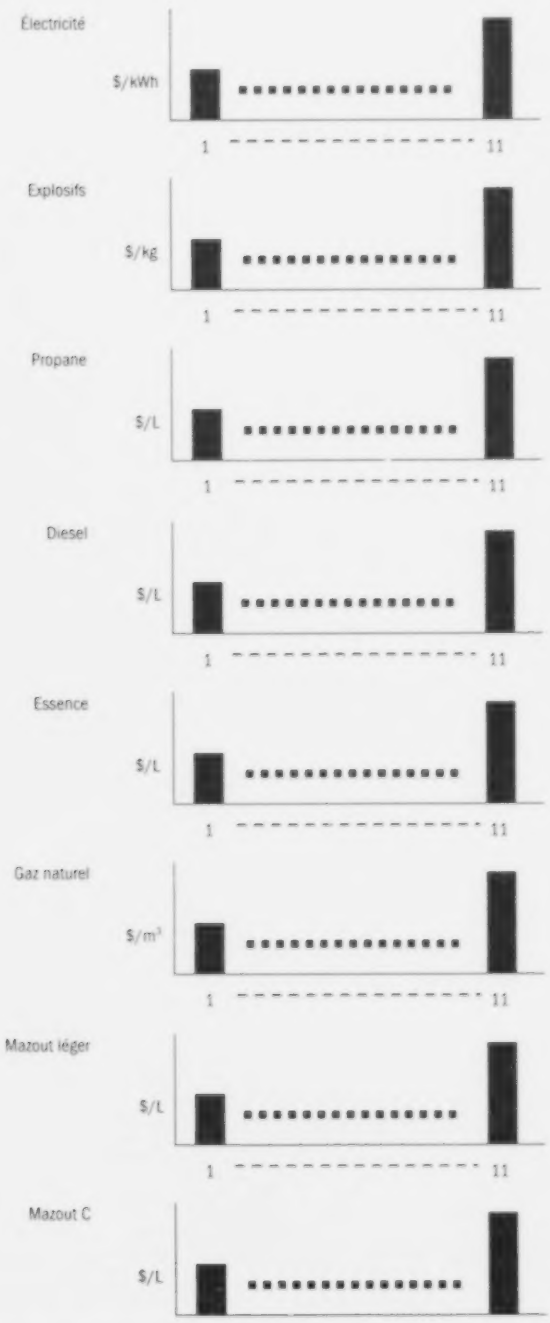
$$\left[\frac{\$}{\text{tonne de minerai broyé}}\right] = \left[\frac{\$}{\text{éq kWh}}\right] \times \left[\frac{\text{éq kWh}}{\text{tonne de minerai broyé}}\right]$$

b) Métaux de base

$$\left[\frac{\$}{\text{tonne de minerai broyé}}\right] = \left[\frac{\$}{\text{éq kWh}}\right] \times \left[\frac{\text{éq kWh}}{\text{tonne de minerai broyé}}\right]$$

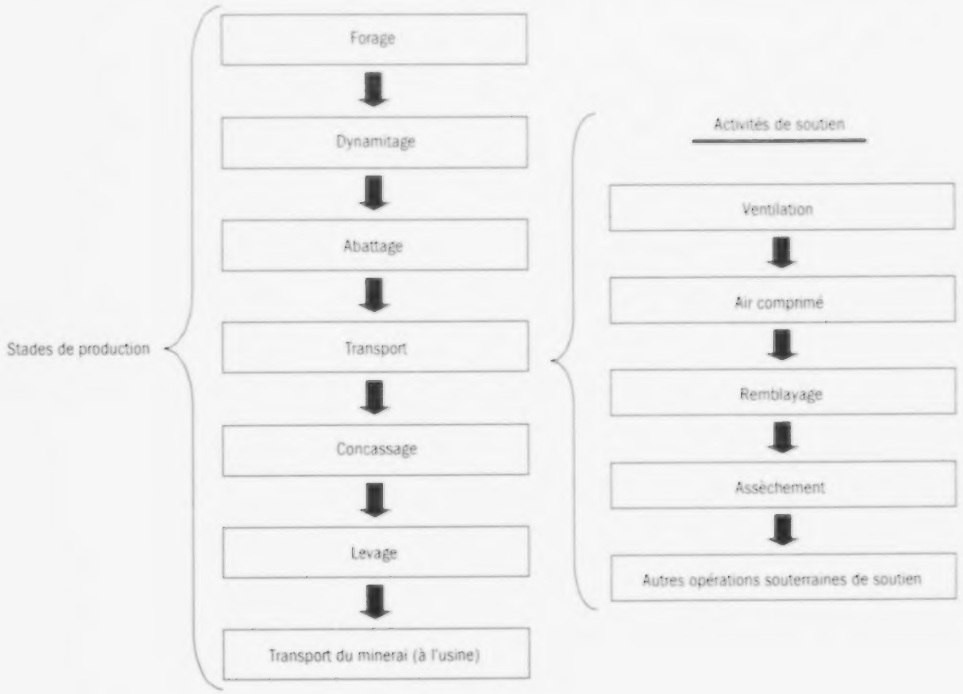
2.3.2 Analyse : coûts énergétiques comparatifs

Nous nous attendions à ce qu'il se produise des écarts entre les 11 établissements pour ce qui est des coûts moyens de l'énergie consommée.



2.3.3 Analyse : activités souterraines

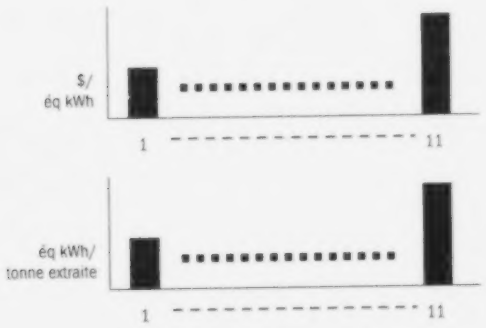
Les activités des mines souterraines ont été réparties en sept stades de production et en cinq activités de soutien. Voici les catégories :



Nous avons comparé le total des coûts énergétiques des opérations minières souterraines des 11 entreprises.

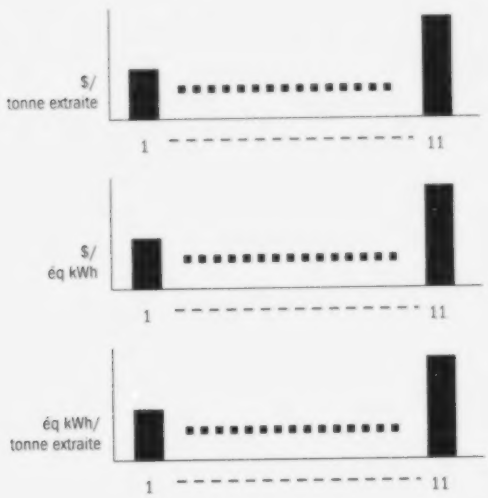
14

Ces coûts énergétiques ont été, par la suite, répartis en deux composants : $/éq kWh et éq kWh/tonne extraite.

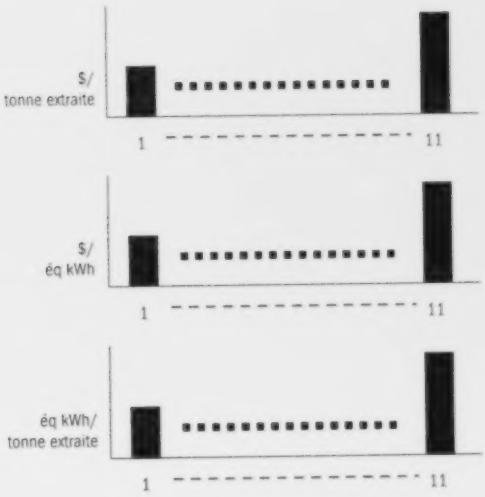


De même, les coûts et la consommation énergétiques des 11 mines ont été comparés par stade de production, ainsi que les activités de soutien.

Forage

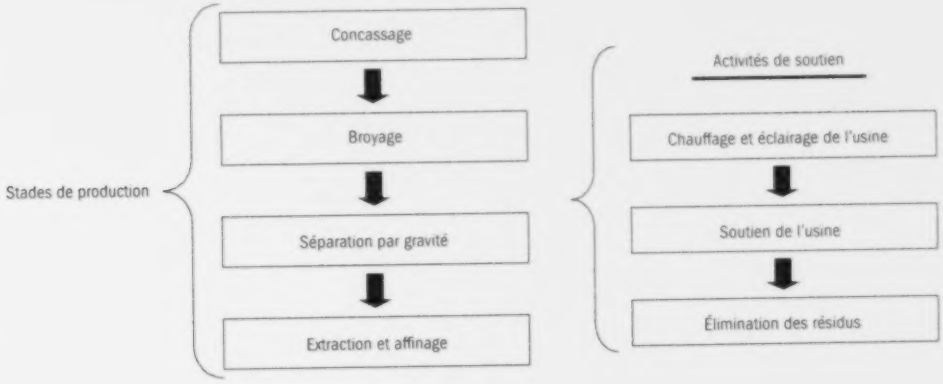


Soutien souterrain

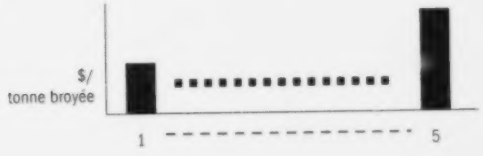


2.3.4 Analyse : activités en surface – récupération de l'or

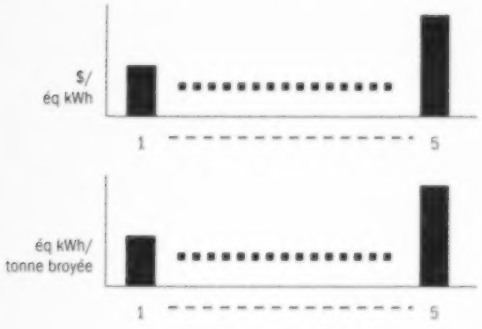
Les activités souterraines de récupération de l'or ont été réparties selon les stades de production et activités de soutien suivants :



Nous avons comparé le total des coûts énergétiques en surface dans le cas des cinq installations de récupération de l'or.

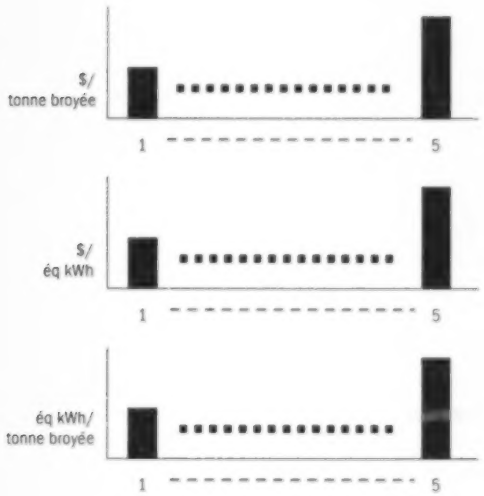


Ces coûts énergétiques ont été, à leur tour, répartis en deux composants : $/éq kWh et éq kWh/tonne de minerai broyé.

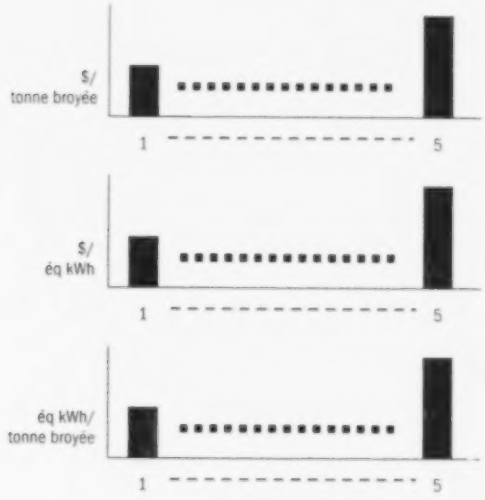


Nous avons comparé le total des coûts énergétiques pour chacune des installations de récupération de l'or en surface.

Concassage

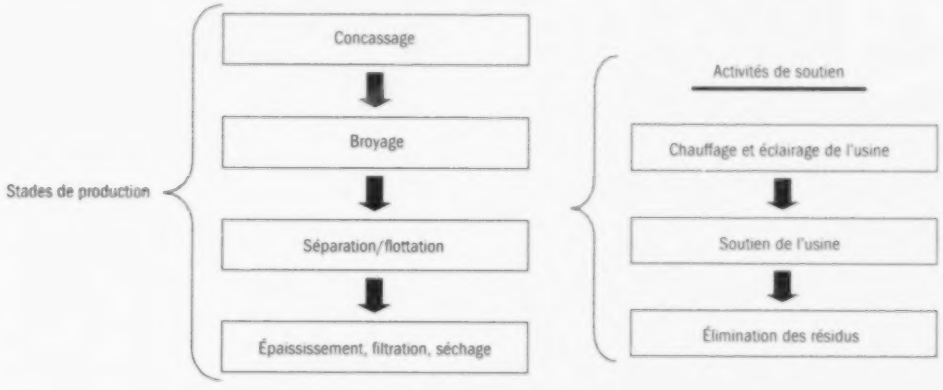


Traitement et élimination des résidus

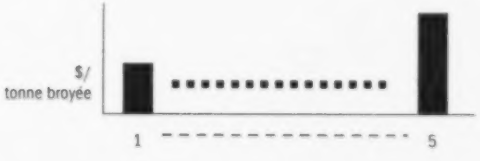


2.3.5 Analyse : activités en surface – broyage des métaux de base

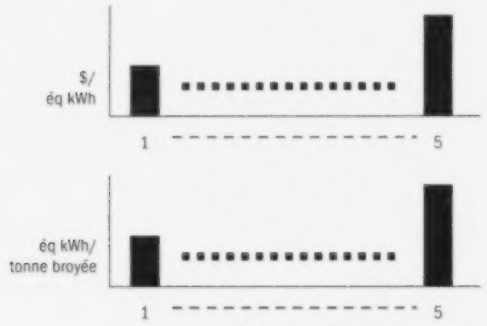
Les établissements de concentration des métaux de base ont été répartis selon les stades de production et les installations de soutien suivants :



Nous avons comparé le total des coûts énergétiques dans le cas des 5 installations de broyage de métaux de base.

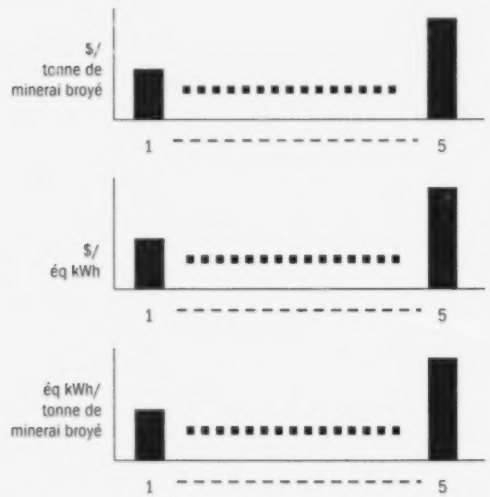


Puis, ces coûts énergétiques ont été répartis en deux composants : $/éq kWh et éq kWh/tonne broyée.

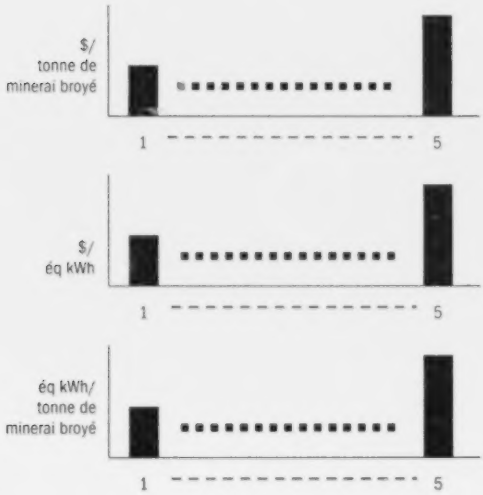


Nous avons comparé le total des coûts énergétiques pour chaque stade des opérations de broyage.

Concassage



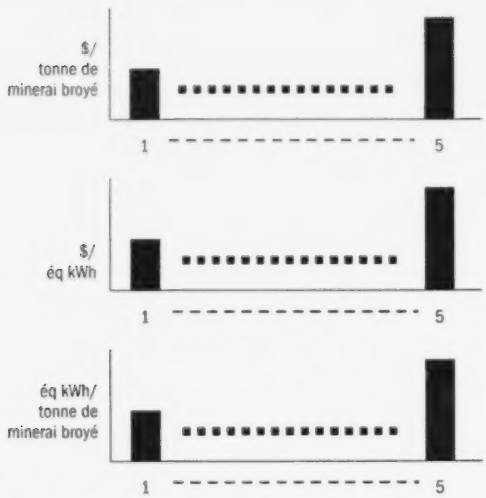
Récupération et élimination des résidus



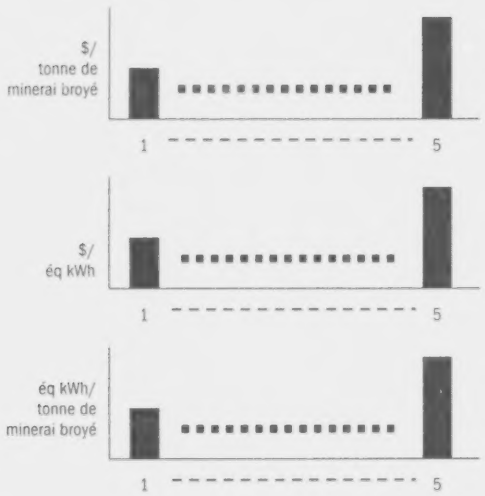
2.3.6 Frais généraux et administratifs

En ce qui a trait aux coûts des frais généraux et administratifs, nous avons effectué des comparaisons distinctes pour les opérations d'extraction de l'or et les opérations de traitement des métaux de base.

Mines d'or



Métaux de base



2.4 Analyse des émissions de gaz à effet de serre

Même si la présente étude a été axée sur l'efficacité énergétique, il importe de souligner les liens qui existent entre les efforts constants pour limiter la consommation d'énergie avec ceux pour tenter de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES). La base de données confectionnée pour les 11 participants à l'étude offre un point de départ dans le cas des efforts de réduction des GES dans les installations. En appliquant les facteurs suivants de conversion en GES, il est possible de déterminer les niveaux d'émissions des installations en surface et souterraines.

Tableau 2.5 – Facteurs de conversion en émissions de GES

Source d'énergie	Unité : tonnes de CO_2 par	Facteur de conversion en CO_2 (tonnes)
Électricité	MWh	0,19
Gaz naturel	1 000 m^3	1,88
Essence	1 000 L	2,83
Diesel	1 000 L	2,73
Mazout	1 000 L	2,83
Propane	1 000 L	1,53
NAH (nitrate d'ammonium et huile lourde)	tonne	0,189

SOURCE : ENVIRONNEMENT CANADA, *TENDANCES DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE AU CANADA*, 1990-1995.

Toute amélioration de l'efficacité énergétique aura pour avantage une réduction d'émissions de GES. Le niveau d'impact dépendra, bien sûr, des circonstances particulières de la situation.

3 COÛTS ÉNERGÉTIQUES : PAYS CONCURRENTS

22

3. COÛTS ÉNERGÉTIQUES : PAYS CONCURRENTS

Ayant identifié les pays concurrents, nous avons déterminé les coûts énergétiques des complexes miniers souterrains. Voir l'annexe 2-1 pour obtenir la liste des complexes miniers par pays.

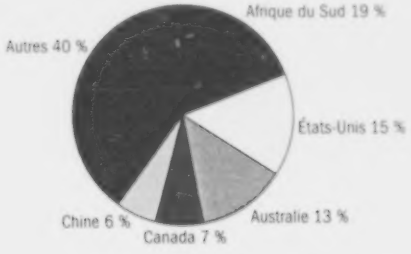
Nous commençons par illustrer l'importance relative de chaque pays producteur sur le marché mondial, pour chaque métal. Nous précisons ensuite les coûts énergétiques basés sur :

- les coûts par tonne de minerai extrait;
- les coûts par tonne de minerai broyé;
- les coûts par unité de métal produit.

3.1 Or

Nous illustrons ci-dessous l'importance relative des principaux pays producteurs d'or. Les pourcentages s'appuient sur des chiffres de 1997.

Figure 3.19 – Principaux pays producteurs d'or (1998)*



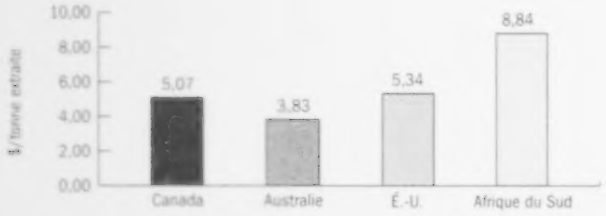
* Source : Association minière du Canada, « It's A Fact », *1999 Facts and Figures*.

Voici les coûts énergétiques comparatifs des principaux pays producteurs d'or, exprimés en dollars US :

3.1.1 Coûts énergétiques moyens par tonne de minerai extrait

En 1999, les coûts énergétiques des mines d'or au Canada s'élevaient à 5,07 $ la tonne de minerai extrait. L'Afrique du Sud, plus grand producteur du monde, avait des coûts énergétiques de 8,84 $ la tonne extraite, les plus élevés des quatre pays de l'échantillon. Venaient ensuite les États-Unis à 5,34 $ la tonne extraite. Quant à l'Australie, elle avait les coûts énergétiques les plus bas par tonne extraite, soit 3,83 $. Les coûts énergétiques canadiens par tonne de minerai extrait ont donc été de 32 p. 100 supérieurs à ceux de l'Australie.

Figure 3.20 – Coûts énergétiques moyens par tonne de minerai extrait* (en $ US de 1999)

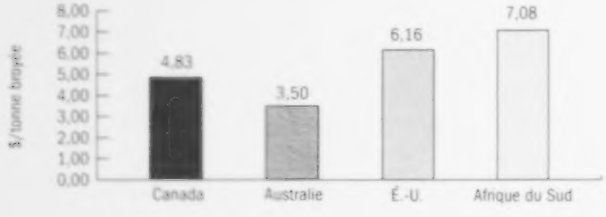


* Nota : Basé sur l'échantillon de mines qui figure à l'annexe 2-1.

3.1.2 Coûts énergétiques moyens par tonne de minerai broyé

Les mines d'or du Canada ont versé en moyenne 4,83 $ en dépenses énergétiques par tonne de minerai broyé en 1999. Les coûts énergétiques moyens des mines d'Afrique du Sud s'élevaient à 7,08 $ par tonne broyée, les plus élevés des quatre pays de l'échantillon. Suivaient les États-Unis à 6,16 $ la tonne broyée. L'Australie s'est révélée le producteur dont les coûts étaient les plus faibles : ses mines ont atteint en moyenne des coûts énergétiques de 3,50 $ par tonne de minerai broyé. Les coûts énergétiques canadiens par tonne de minerai broyé ont donc été de 37 p. 100 supérieurs à ceux de l'Australie.

Figure 3.21 – Coûts énergétiques moyens par tonne de minerai broyé* (en $ US de 1999)

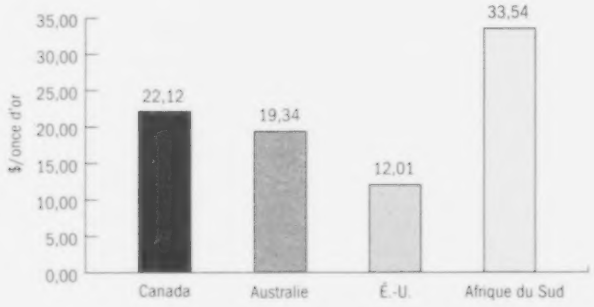


* Nota : Basé sur l'échantillon de mines qui figure à l'annexe 2-1.

3.1.3 Coûts énergétiques par once d'or produite

En moyenne, les mines d'or du Canada ont versé 22,12 $ en dépenses énergétiques par once troy d'or en 1999. L'Afrique du Sud, plus grand producteur du monde, a connu des coûts énergétiques de 33,54 $ l'once, les plus élevés des quatre pays de l'échantillon. Les États-Unis ont affiché les coûts les plus bas, soit de 12,01 $ l'once. L'Australie a affiché les deuxièmes plus bas coûts, à 19,34 $. Les coûts énergétiques canadiens par once d'or ont donc été de 84 p. 100 supérieurs à ceux des États-Unis. À noter que même si les mines d'or des États-Unis affichent des coûts supérieurs à ceux des mines d'or canadiennes et australiennes sur la base des tonnes extraites ou broyées, elles ont atteint les coûts énergétiques les plus bas par once d'or produite. Cela est attribuable à des teneurs de minerai plus élevées dans ces mines que dans les mines canadiennes et australiennes.

Figure 3.22 - Coûts énergétiques moyens par once d'or produite* (en $ US de 1999)

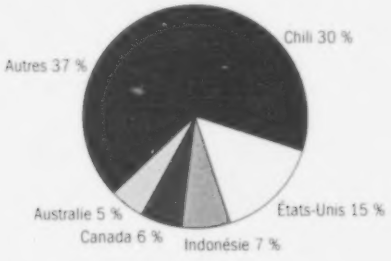


* NOTA : BASÉ SUR L'ÉCHANTILLON DE MINES QUI FIGURE À L'ANNEXE 2-1.

3.2 Cuivre

Nous illustrons ci-dessous l'importance relative des principaux pays producteurs de cuivre. Les pourcentages s'appuient sur des données de 1998.

Figure 3.23 - Principaux pays producteurs de cuivre (1998)*



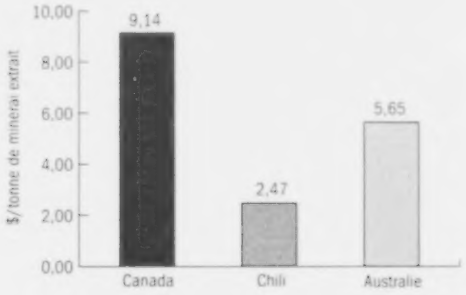
* SOURCE : ASSOCIATION MINIÈRE DU CANADA, « IT'S A FACT », *1999 FACTS AND FIGURES*.

Paraissent ci-dessous, exprimés en dollars US, les coûts énergétiques comparatifs des principaux pays producteurs de cuivre.

3.2.1 Coûts énergétiques moyens par tonne de minerai extrait

Les mines de cuivre du Canada ont affiché des coûts énergétiques de 9,14 $ par tonne de minerai extrait en 1999. Il s'agissait des coûts les plus élevés des principaux pays pour lesquels des données étaient disponibles. Le Chili, plus grand producteur mondial de cuivre, a connu des coûts de seulement 2,47 $ la tonne extraite. En moyenne, les mines australiennes ont affiché des coûts énergétiques de 5,65 $ la tonne de minerai extrait. Ainsi, les coûts énergétiques par tonne extraite des mines canadiennes étaient de 270 p. 100 supérieurs à ceux des mines chiliennes.

Figure 3.24 – Coûts énergétiques moyens par tonne de minerai extrait* (en $ US de 1999)

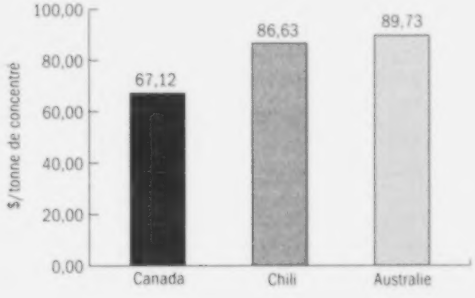


* NOTA : BASÉ SUR L'ÉCHANTILLON DE MINES QUI FIGURE À L'ANNEXE 2-1.

3.2.2 Coûts énergétiques moyens par tonne de concentré produit

En 1999, les coûts énergétiques des mines de cuivre canadiennes par tonne de concentré s'élevaient à 67,12 $. Dans le cas des mines chiliennes, ces coûts étaient en moyenne de 86,63 $ la tonne de concentré; en Australie, la production était la plus dispendieuse des trois pays échantillonnés, soit de 89,73 $ la tonne de concentré. Même si les mines canadiennes ont affiché les coûts énergétiques les plus élevés par tonne de minerai extraite, elles connaissaient les coûts énergétiques les plus bas par tonne de concentré. La gamme des coûts énergétiques unitaires est beaucoup plus restreinte pour le concentré produit que pour le minerai extrait : les coûts énergétiques en Australie par unité ne sont que de 33,6 p. 100 supérieurs au Canada.

Figure 3.25 – Coûts énergétiques moyens par tonne de concentré* (en $ US de 1999)

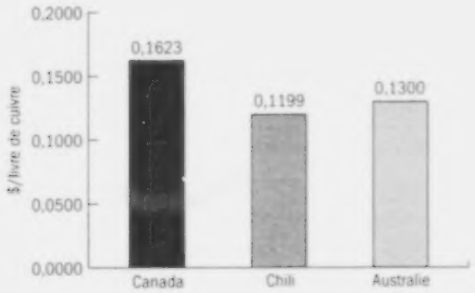


* NOTA : BASÉ SUR L'ÉCHANTILLON DE MINES QUI FIGURE À L'ANNEXE 2-1.

3.2.3 Coûts énergétiques moyens par livre de cuivre produite

En 1999, les coûts énergétiques des mines de cuivre canadiennes par livre de cuivre produite étaient de 0,1623 $. Quant au Chili, plus grand producteur mondial, il affichait des coûts énergétiques de 0,1199 $ par livre, et les mines australiennes, de 0,1300 $ par livre.

Figure 3.26 – Coûts énergétiques moyens par livre de cuivre produite* (en $ US de 1999)

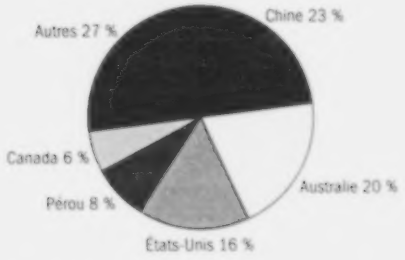


* NOTA : BASÉ SUR L'ÉCHANTILLON DE MINES QUI FIGURE À L'ANNEXE 2-1.

3.3 Plomb et zinc

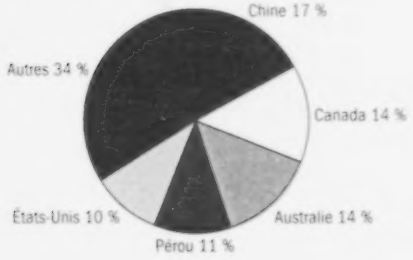
L'importance relative des principaux pays producteurs de plomb et de zinc est illustrée ci-après.

Figure 3.27 – Principaux pays producteurs de plomb (1998)



* SOURCE : ASSOCIATION MINIÈRE DU CANADA, « IT'S A FACT », *1999 FACTS AND FIGURES*.

Figure 3.28 – Principaux pays producteurs de zinc (1998)

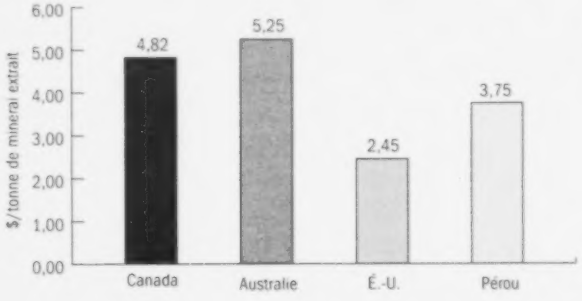


* SOURCE : ASSOCIATION MINIÈRE DU CANADA, « IT'S A FACT », *1999 FACTS AND FIGURES*.

3.3.1 Coûts énergétiques moyens par tonne de minerai extrait

En 1999, les mines de plomb et de zinc du Canada affichaient des coûts énergétiques de 4,82 $ par tonne de minerai extrait. Ces coûts étaient les deuxièmes plus élevés des pays pour lesquels des données étaient disponibles. Aux États-Unis, les mines avaient des coûts moyens de 2,45 $ par tonne de minerai extrait, les coûts les plus faibles du groupe. Suivait le Pérou avec 3,75 $ la tonne extraite; quant à l'Australie, ses mines étaient les plus coûteuses à 5,25 $ la tonne extraite. Les coûts énergétiques par tonne extraite dans les mines canadiennes étaient donc en moyenne de 97 p. 100 plus élevés que ceux des mines américaines.

Figure 3.29 – Coûts énergétiques moyens par tonne de minerai extrait* (en $ US de 1999)

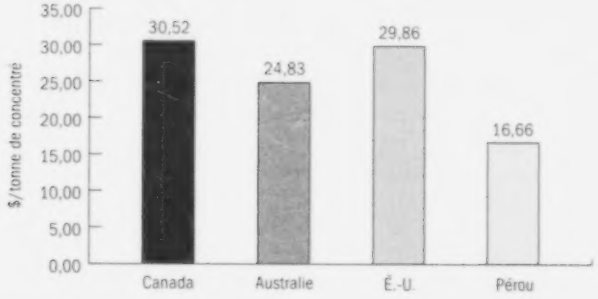


* NOTA : BASÉ SUR L'ÉCHANTILLON DE MINES QUI FIGURE À L'ANNEXE 2-1.

3.3.2 Coûts énergétiques moyens par tonne de concentré produit

En 1999, les mines de plomb et de zinc du Canada affichaient des coûts énergétiques de 30,52 $ la tonne de concentré, les plus élevés des quatre pays. Au Pérou, les mines indiquaient les coûts moyens les plus bas (16,66 $ la tonne de concentré). Quant aux mines australiennes, elles faisaient face à des coûts de 24,83 $. Les coûts énergétiques par tonne de concentré des mines canadiennes étaient donc de 83 p. 100 supérieurs à ceux du pays producteur aux coûts les plus bas (le Pérou).

Figure 3.30 – Coûts énergétiques moyens par tonne de concentré* (en $ US de 1999)

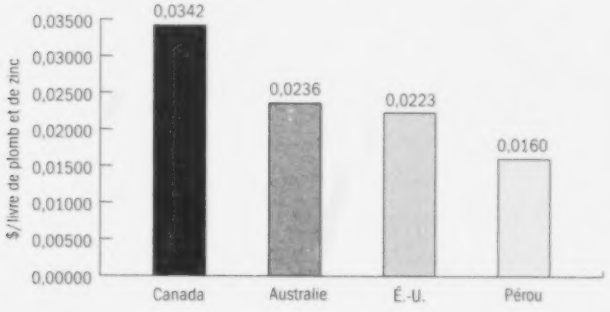


* NOTA : BASÉ SUR L'ÉCHANTILLON DE MINES QUI FIGURE À L'ANNEXE 2-1.

3.3.3 Coûts énergétiques par livre exploitable de plomb et de zinc produits

En 1999, les mines de zinc et de plomb du Canada ont dépensé en moyenne 0,0342 $ en coûts énergétiques par livre de plomb et de zinc. Le Pérou, producteur dont les coûts sont les plus bas, indique le chiffre de 0,0160 $ par livre. Les mines des États-Unis et de l'Australie affichaient respectivement des coûts de 0,0223 $ et de 0,0236 $ par livre. Les coûts énergétiques unitaires au Canada étaient donc de 114 p. 100 supérieurs à ceux du producteur aux coûts les plus faibles (le Pérou).

Figure 3.31 – Coûts énergétiques par livre exploitable de plomb et de zinc produits* (en $ US de 1999)

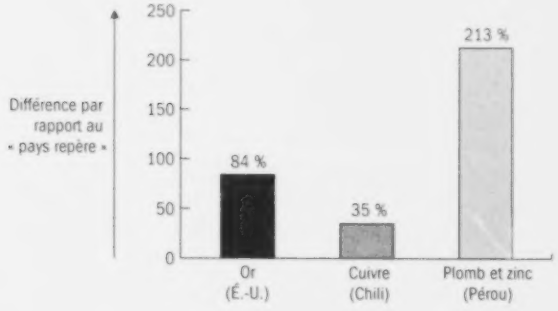


* NOTA : BASÉ SUR L'ÉCHANTILLON DE MINES QUI FIGURE À L'ANNEXE 2-1.

3.4 Résumé

Les coûts énergétiques unitaires au Canada, selon l'échantillon des établissements décrits au chapitre 2, sont nettement supérieurs à ceux des pays concurrents dont les coûts sont les plus bas. Les comparaisons ci-dessous établissent le rapport entre les coûts au Canada et ceux des « pays repères ».

Figure 3.32 – Coûts énergétiques au Canada : comparaison à l'échelle internationale (différence par rapport au « pays repère »)*



NOTA : * PRODUCTION DE MÉTAL

4

RÉSULTATS : MINES PARTICIPANTES REPÈRES

32

4. RÉSULTATS : MINES PARTICIPANTES REPÈRES

Les résultats de l'analyse énergétique comparative seront présentés au fur et à mesure que nous comparerons :

- les coûts des 11 participants en ce qui concerne les sources d'énergie particulières;
- les résultats des activités minières des 11 établissements;
- les résultats des opérations de concentration des 5 installations de métaux de base;
- les résultats des 5 établissements de récupération de l'or.

4.1 Coûts énergétiques comparatifs

Les coûts énergétiques unitaires sont comparés à la figure 4.1.2. Il existe des écarts très importants entre les opérations dont les coûts sont les plus faibles et les plus élevés. Comme le montre la figure 4.1.1 ci-dessous, la variation des coûts unitaires pour chaque source d'énergie est très vaste (de 158 à 699 p. 100).

Figure 4.1.1 Écart des coûts énergétiques unitaires

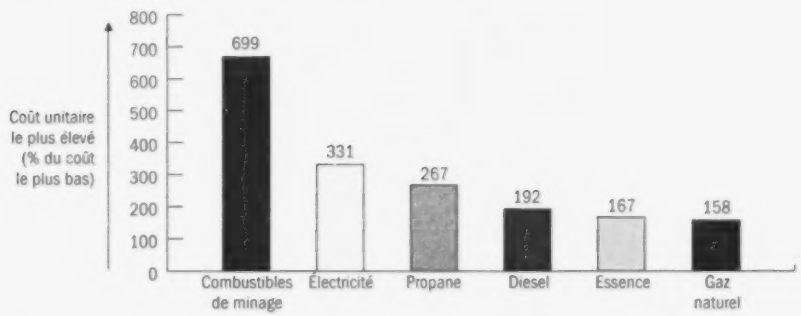
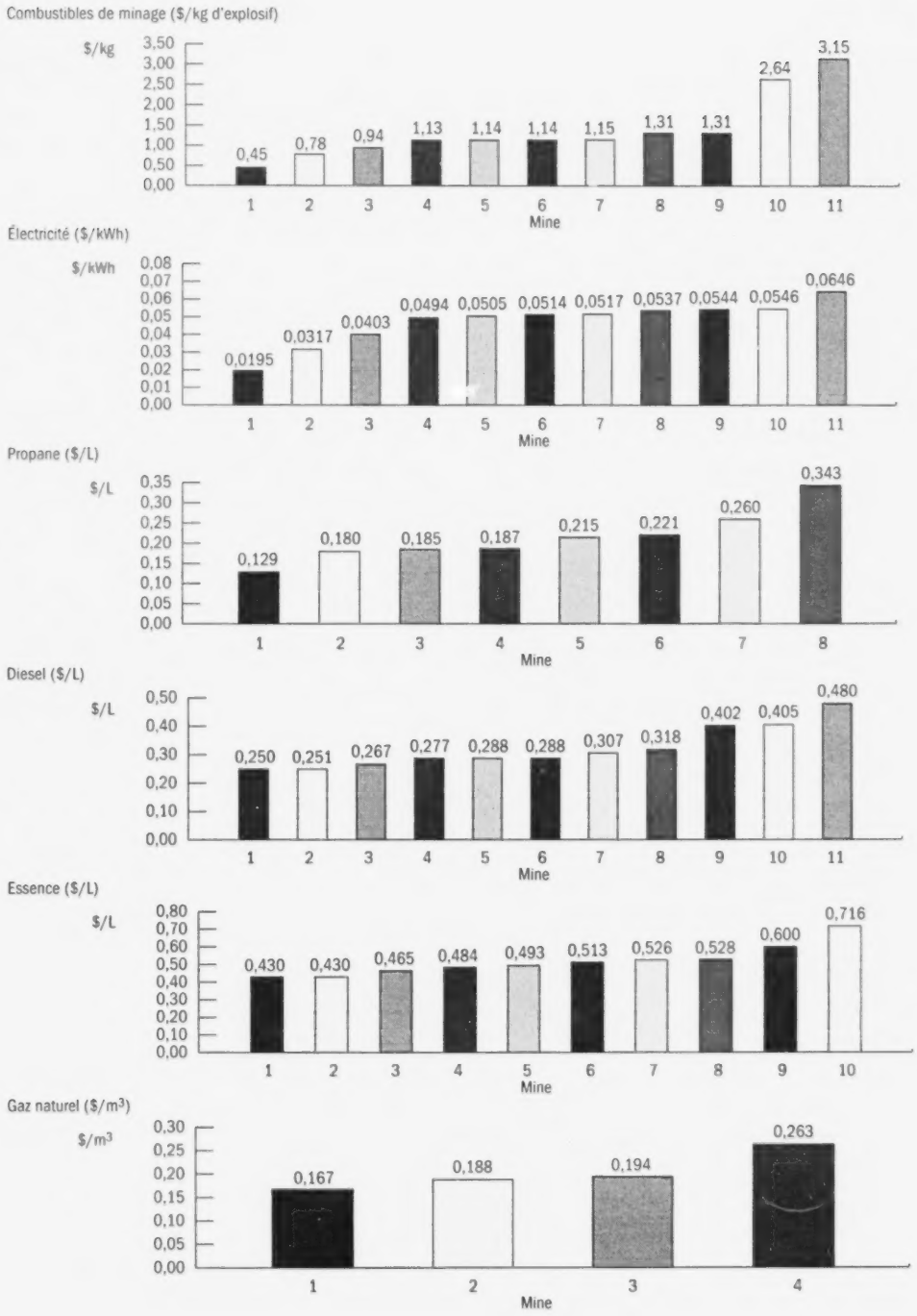


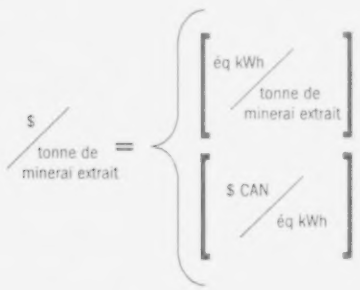
Figure 4.1.2 Coûts énergétiques unitaires comparatifs



34

4.2 Exploitation minière : coûts énergétiques comparatifs des mines particulières

Nous avons reçu des données de toutes les installations souterraines, de sorte qu'il a été possible d'établir des comparaisons au niveau agrégé (coûts et consommation par unité de minerai extrait). Dans le cas de 10 mines sur 11, nous avons reçu les données nécessaires pour désagréger les comparaisons par stade de production (du forage jusqu'au levage) et par catégorie de soutien (ventilation, remblayage, etc.). Dans tous les cas, nous avons comparé les coûts énergétiques en dollars canadiens par tonne extraite; ces coûts, par la suite, ont été répartis en composant de coût énergétique (dollars par équivalent kWh) et en composant de consommation (équivalent kWh par tonne extraite).

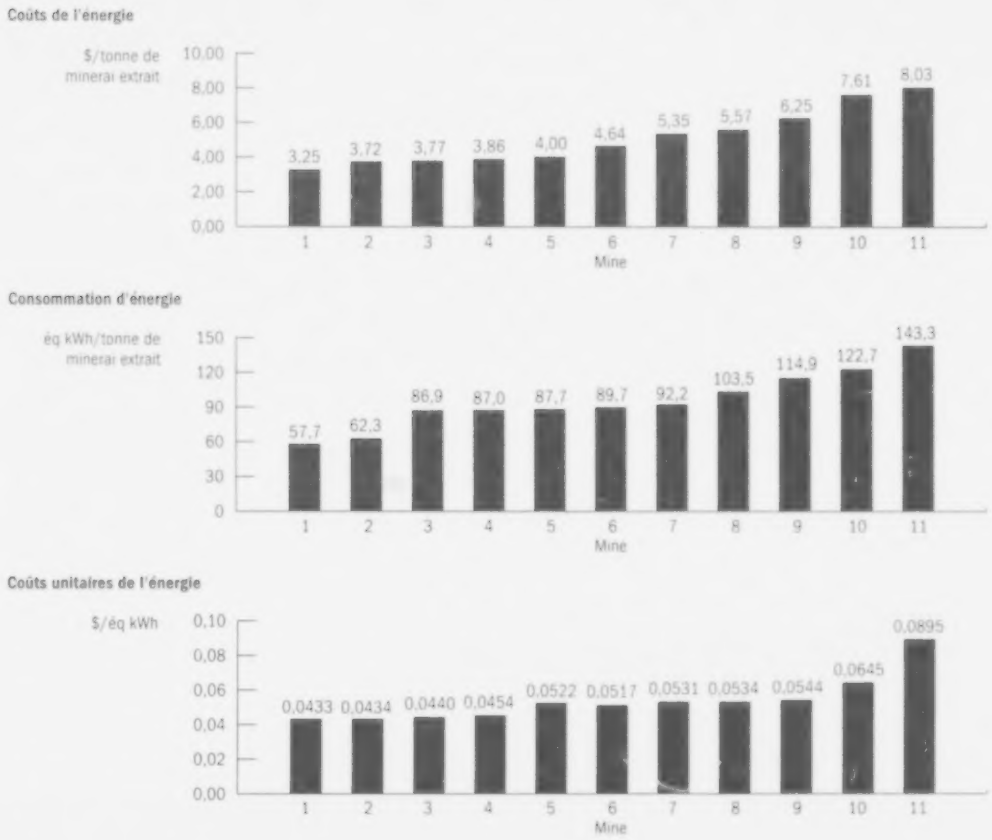


4.2.1 Total pour l'exploitation des mines souterraines

Le total des coûts énergétiques de l'exploitation de la mine souterraine dans les 11 établissements est illustré à la figure 4.2.1. Les coûts unitaires varient de 3,25 $ à 8,03 $ la tonne extraite. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne extraite)	8,03 : 3,25	247
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne extraite)	143,31 : 57,73	248
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0895 : 0,0433	207

Figure 4.2.1 – Comparaisons : total des coûts énergétiques des mines



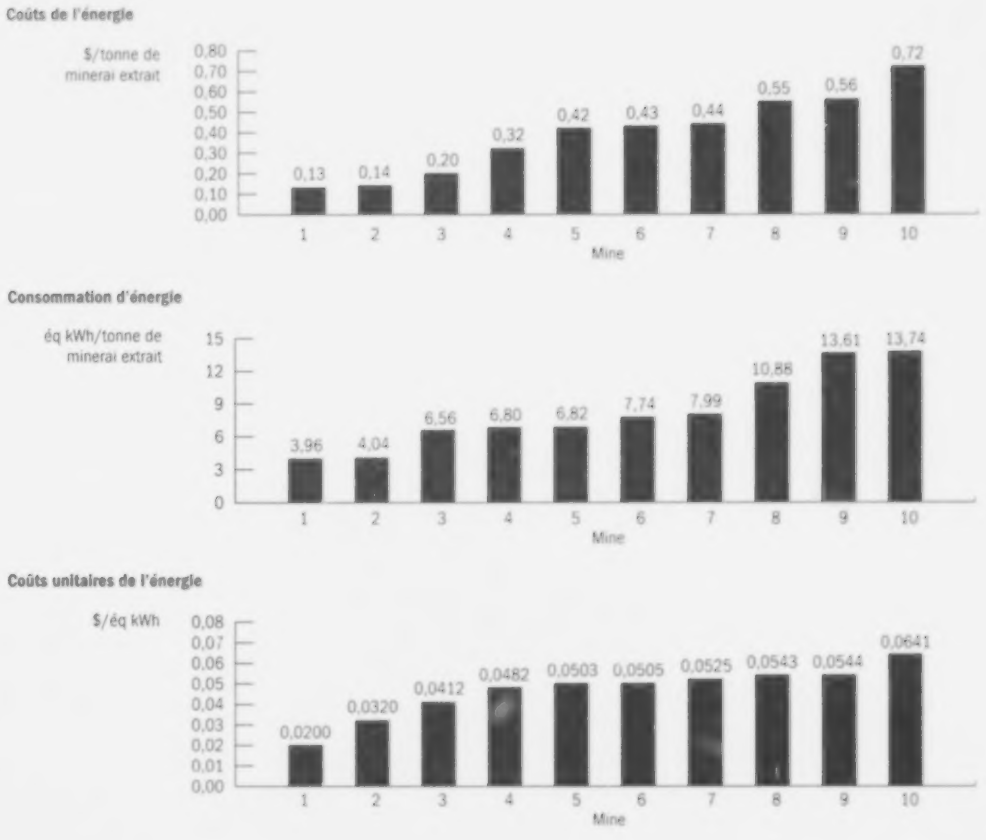
4.2.2 Exploitation minière souterraine : stades de production

Forage

Les coûts énergétiques du forage varient de 0,13 $ à 0,72 $ par tonne extraite dans le cas de 10 opérations de forage, comme l'illustre la figure 4.2.2. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne extraite)	0,72 : 0,13	554
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne extraite)	13,74 : 3,96	347
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0641 : 0,0200	321

Figure 4.2.2 – Comparaisons entre les mines : forage

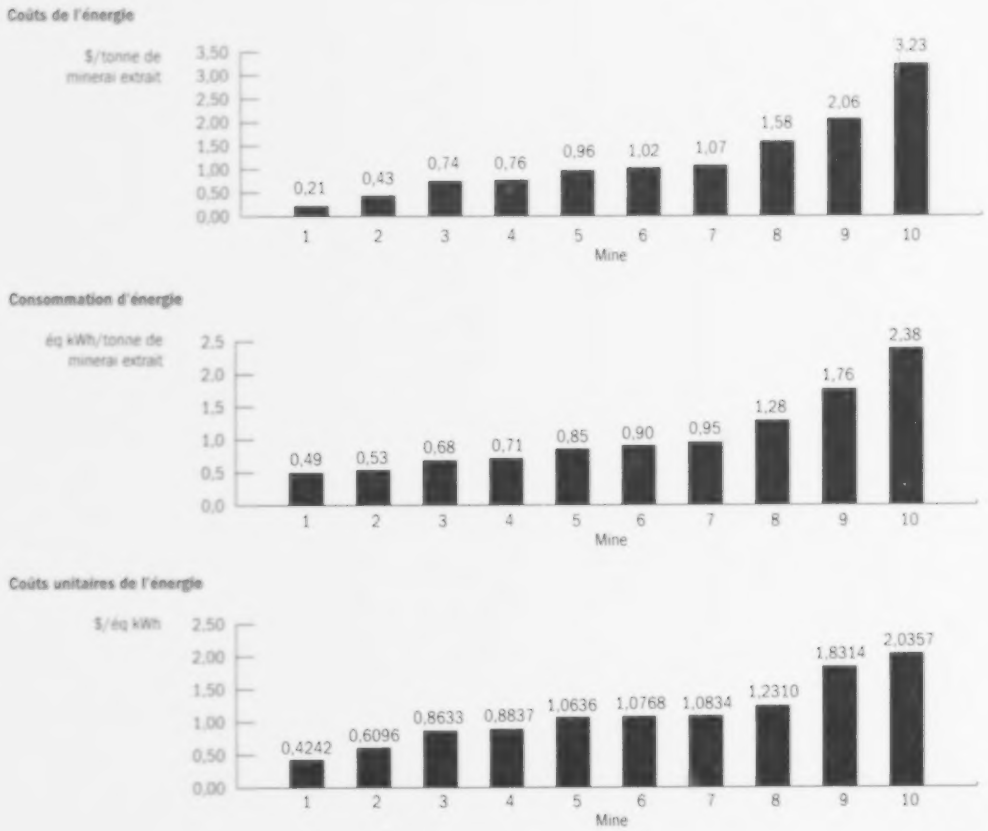


Dynamitage

Les coûts énergétiques du dynamitage variaient de 0,21 $ à 3,23 $ la tonne extraite, comme l'illustre la figure 4.2.3. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne extraite)	3,23 : 0,21	1 538
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne extraite)	2,38 : 0,49	486
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	2,0357 : 0,4242	480

Figure 4.2.3 – Comparaisons entre les mines : dynamitage

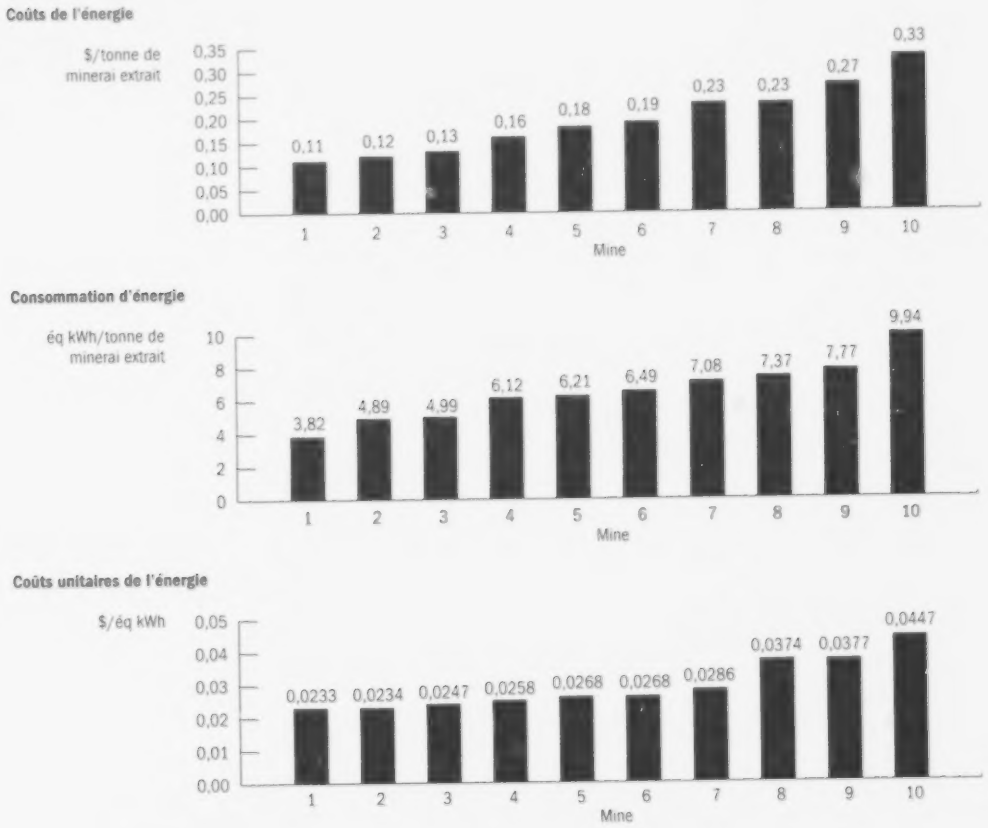


Abattage

Les coûts énergétiques de l'abattage variaient de 0,11 $ à 0,33 $ par tonne, comme l'illustre la figure 4.2.4. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne extraite)	0,33 : 0,11	300
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne extraite)	9,94 : 3,82	260
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0447 : 0,0233	192

Figure 4.2.4 – Comparaisons entre les mines : abattage

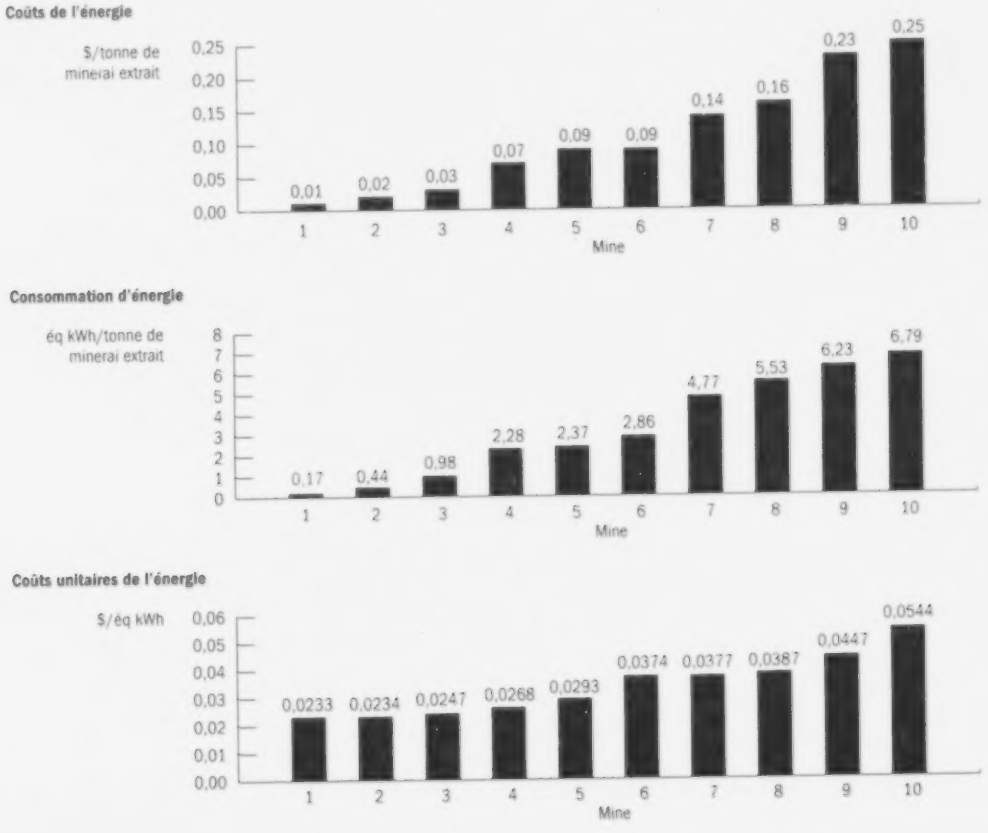


Transport souterrain du minerai

Les coûts énergétiques du transport souterrain du minerai variaient de 0,01 $ à 0,25 $ par tonne extraite, comme l'illustre la figure 4.2.5. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne extraite)	0,25 : 0,01	2 500
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne extraite)	6,79 : 0,17	3 995
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0544 : 0,0233	233

Figure 4.2.5 – Comparaisons entre les mines : transport souterrain du minerai

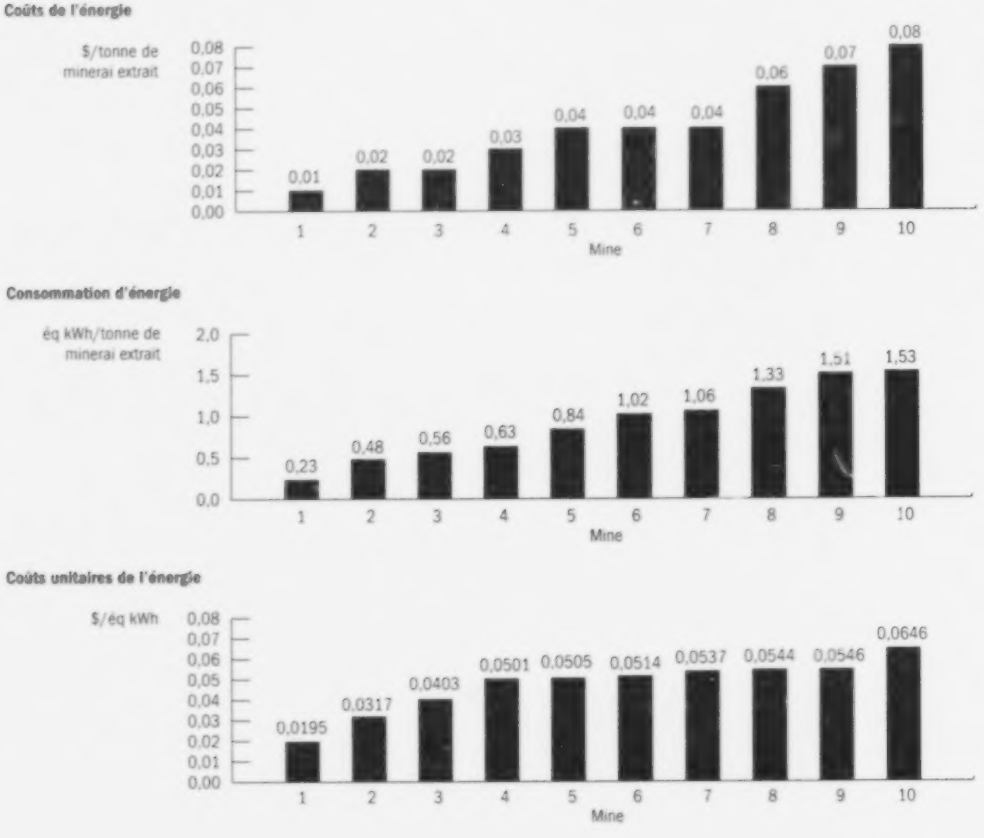


Concassage souterrain

Les coûts énergétiques du concassage souterrain variaient de 0,01 $ à 0,08 $ la tonne extraite, comme l'illustre la figure 4.2.6. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne extraite)	0,08 : 0,01	800
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne extraite)	1,53 : 0,23	665
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0646 : 0,0195	331

Figure 4.2.6 – Comparaisons entre les mines : concassage souterrain

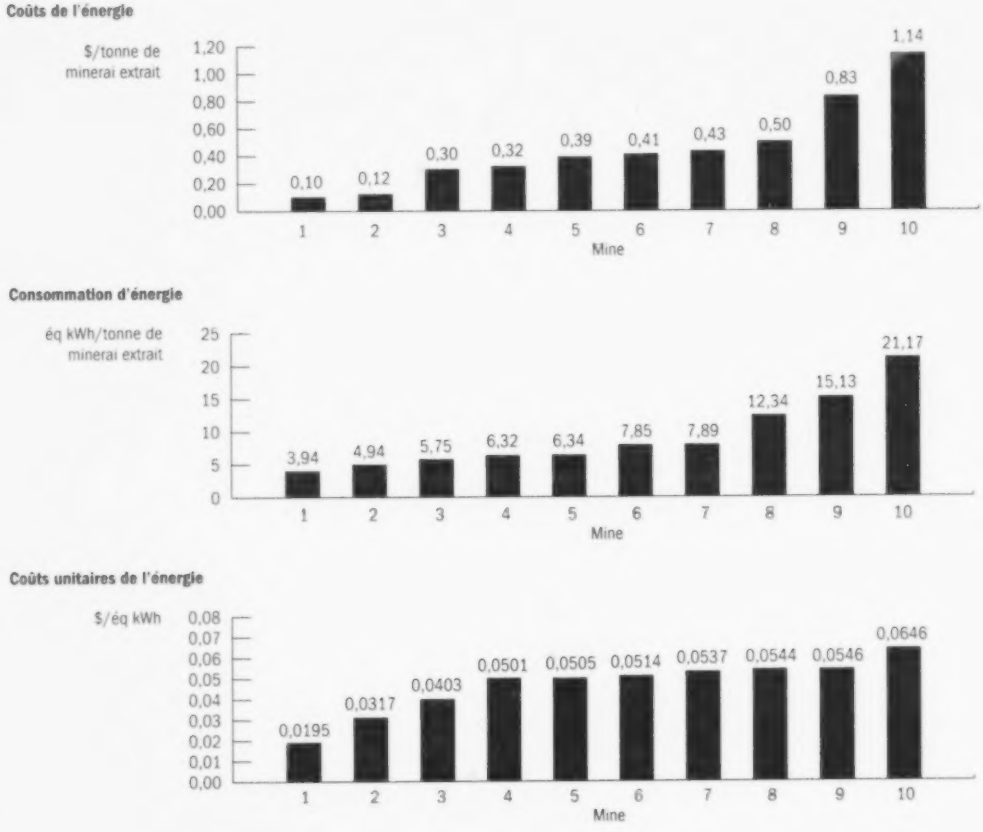


Levage

Les coûts énergétiques du levage variaient de 0,10 $ à 1,14 $ la tonne extraite, comme l'illustre la figure 4.2.7. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne extraite)	1,14 : 0,10	1 140
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne extraite)	21,17 : 3,94	573
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0646 : 0,0195	331

Figure 4.2.7 – Comparaisons entre les mines : levage

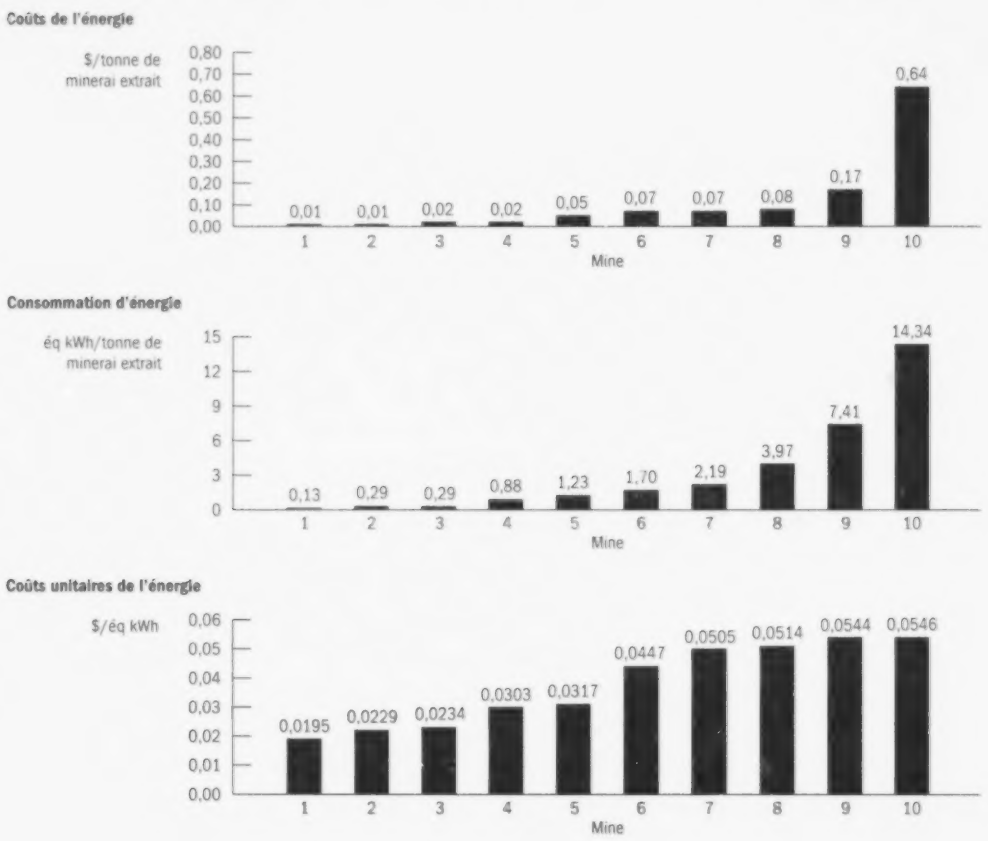


Transport du minerai à l'usine

Les coûts énergétiques du transport du minerai à l'usine variaient de 0,01 $ à 0,64 $ la tonne extraite, comme l'illustre la figure 4.2.8. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne extraite)	0,64 : 0,01	6 400
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne extraite)	14,34 : 0,13	1 103
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0546 : 0,0195	280

Figure 4.2.8 – Comparaisons entre les mines : transport du minerai à l'usine

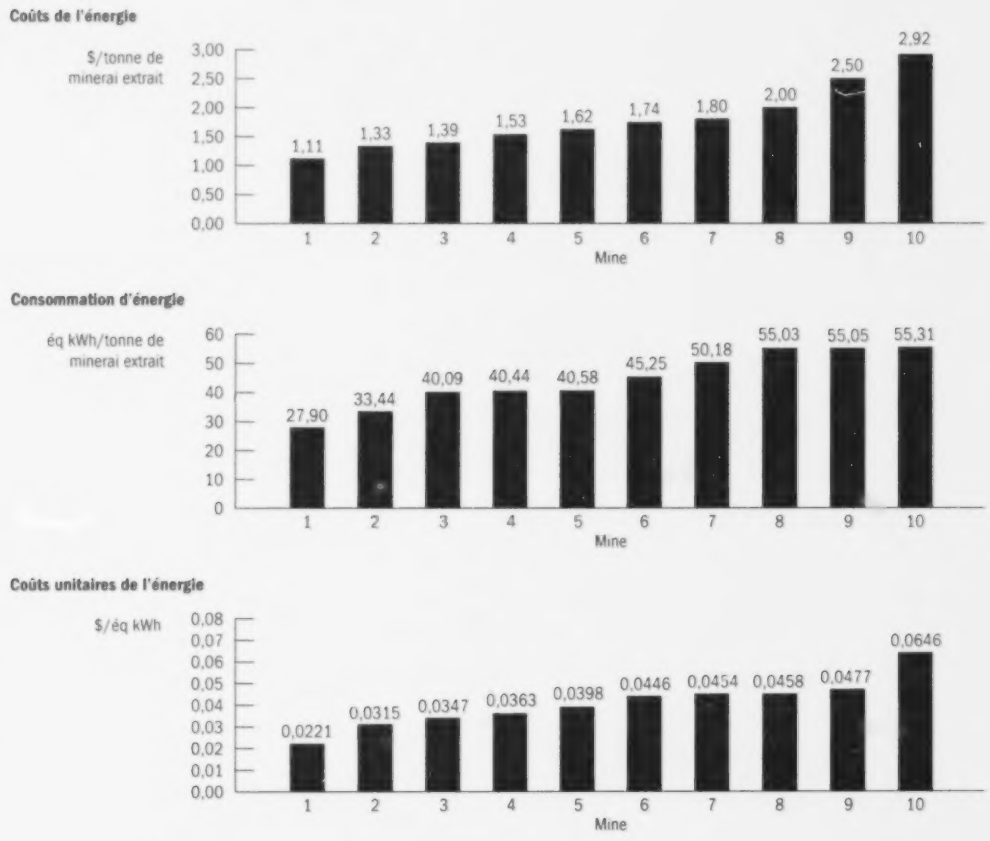


Ventilation

Les coûts énergétiques de la ventilation variaient de 1,11 $ à 2,92 $ la tonne extraite, comme l'illustre la figure 4.2.9. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne extraite)	2,92 : 1,11	263
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne extraite)	55,31 : 27,90	198
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0646 : 0,0221	292

Figure 4.2.9 – Comparaisons entre les mines : ventilation

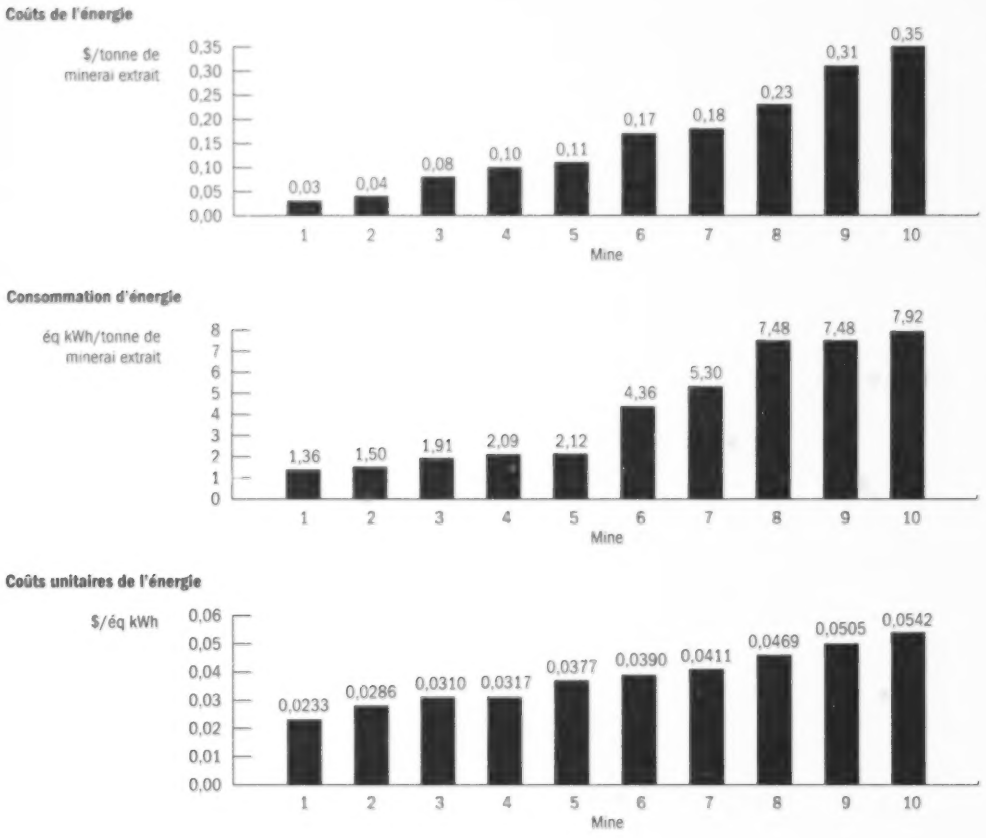


Remblayage

Les coûts énergétiques du remblayage variaient de 0,03 $ à 0,35 $ la tonne extraite, comme l'illustre la figure 4.2.10. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne extraite)	0,35 : 0,03	1 167
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne extraite)	7,92 : 1,36	582
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0542 : 0,0233	233

Figure 4.2.10 – Comparaisons entre les mines : remblayage

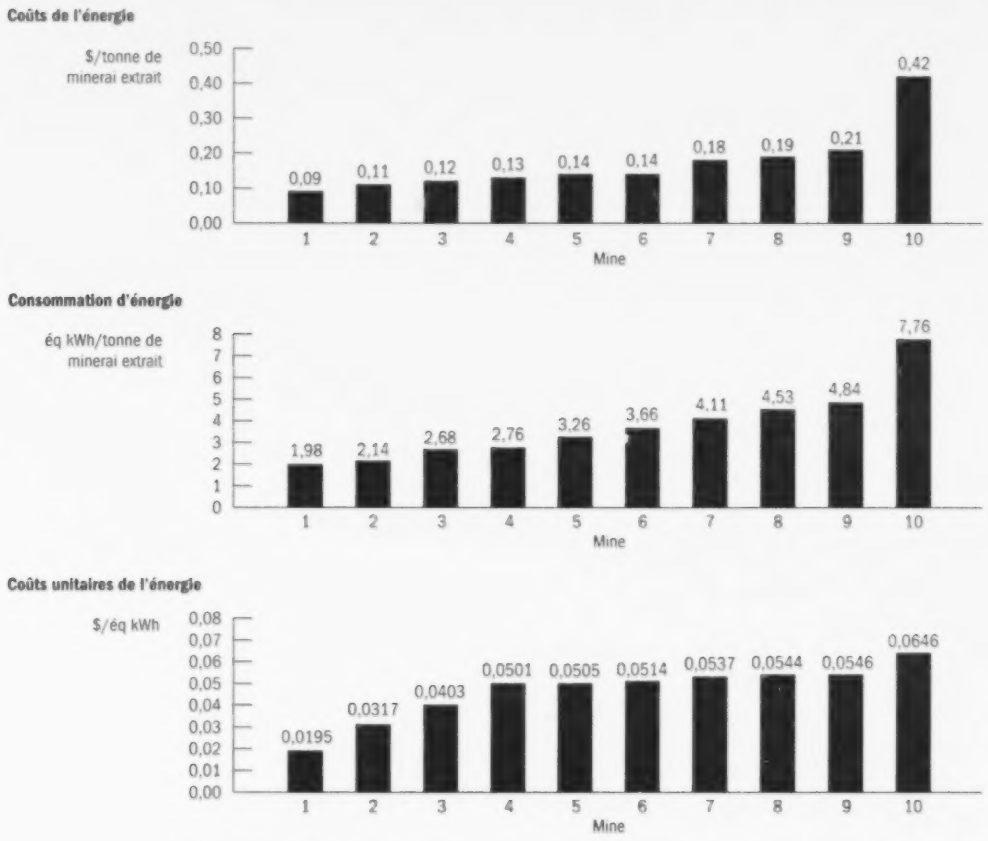


Assèchement

Les coûts énergétiques de l'assèchement variaient de 0,09 $ à 0,42 $ la tonne extraite, comme l'illustre la figure 4.2.11. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne extraite)	0,42 : 0,09	467
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne extraite)	7,76 : 1,98	392
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0646 : 0,0195	331

Figure 4.2.11 – Comparaisons entre les mines : assèchement

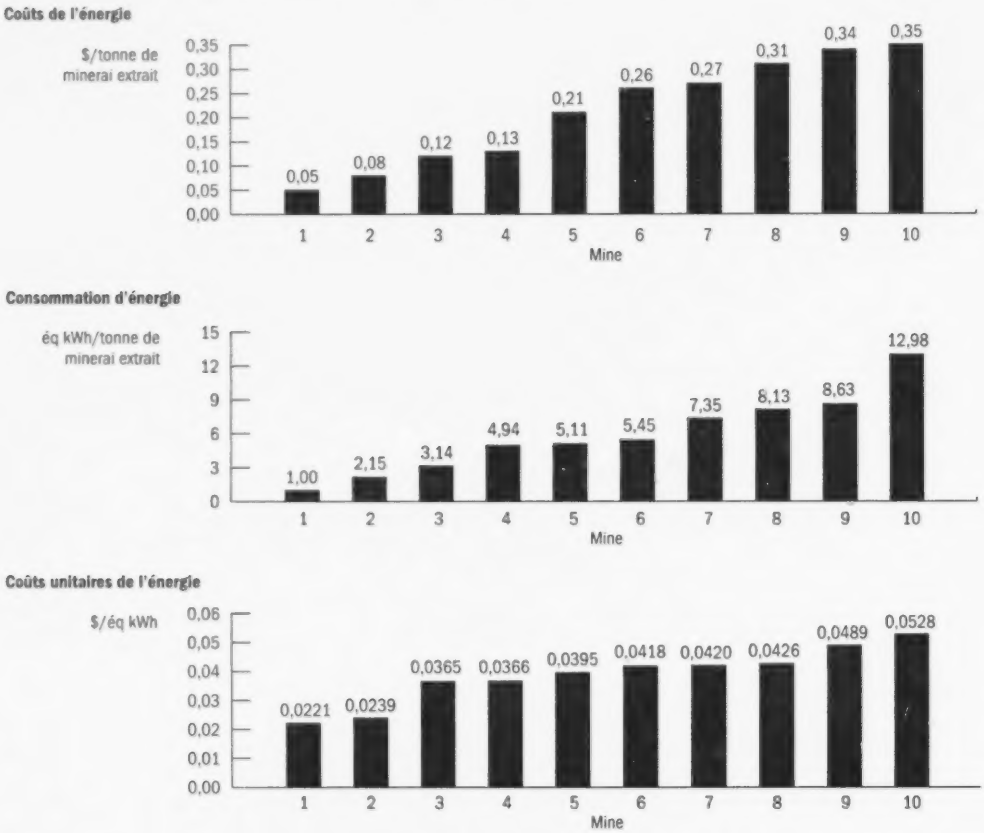


Autre soutien souterrain

Les coûts énergétiques des autres activités de soutien souterraines variaient de 0,05 $ à 0,35 $ la tonne extraite, comme l'illustre la figure 4.2.12. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne extraite)	0,35 : 0,05	700
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne extraite)	12,98 : 1,00	1 298
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0528 : 0,0221	239

Figure 4.2.12 – Comparaisons entre les mines : autre soutien souterrain



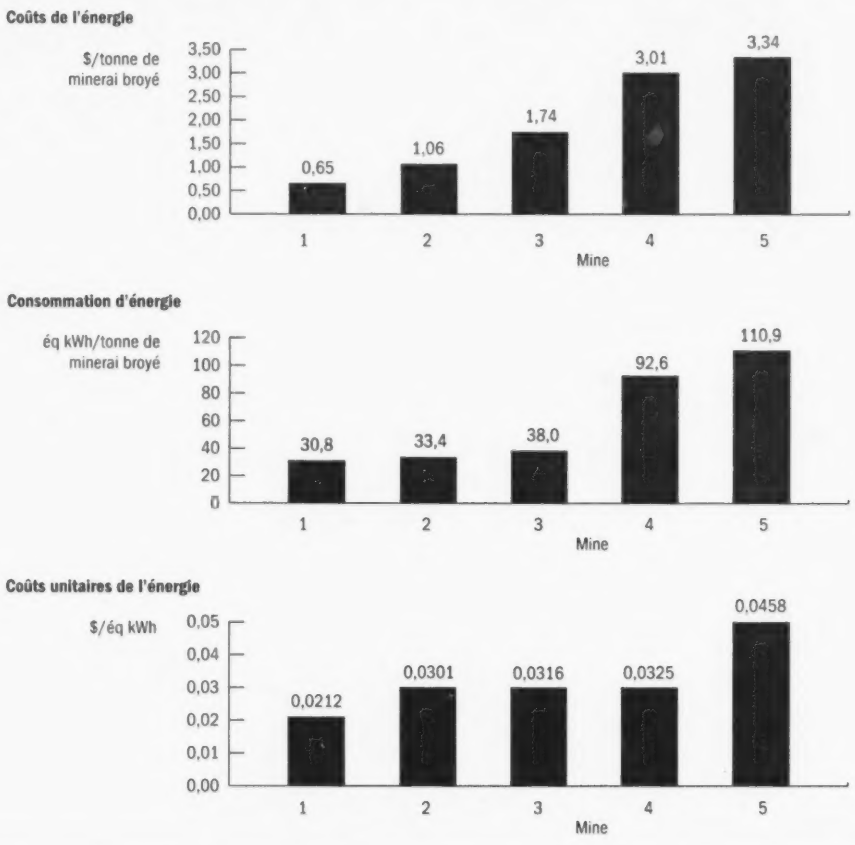
4.3 Opérations de concentration : métaux de base

4.3.1 Coûts énergétiques totaux : concentration

Cinq participants ont transmis des données sur leurs opérations de concentration des métaux de base. Les coûts énergétiques ont été comparés sur la base des tonnes de minerai broyé. Comme le montre la figure 4.3.1, les coûts énergétiques unitaires du broyage variaient de 0,65 $ à 3,34 $ la tonne de minerai broyé. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne broyée)	3,34 : 0,65	514
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne broyée)	110,87 : 30,75	360
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0458 : 0,0212	216

Figure 4.3.1 – Total des coûts énergétiques : concentration



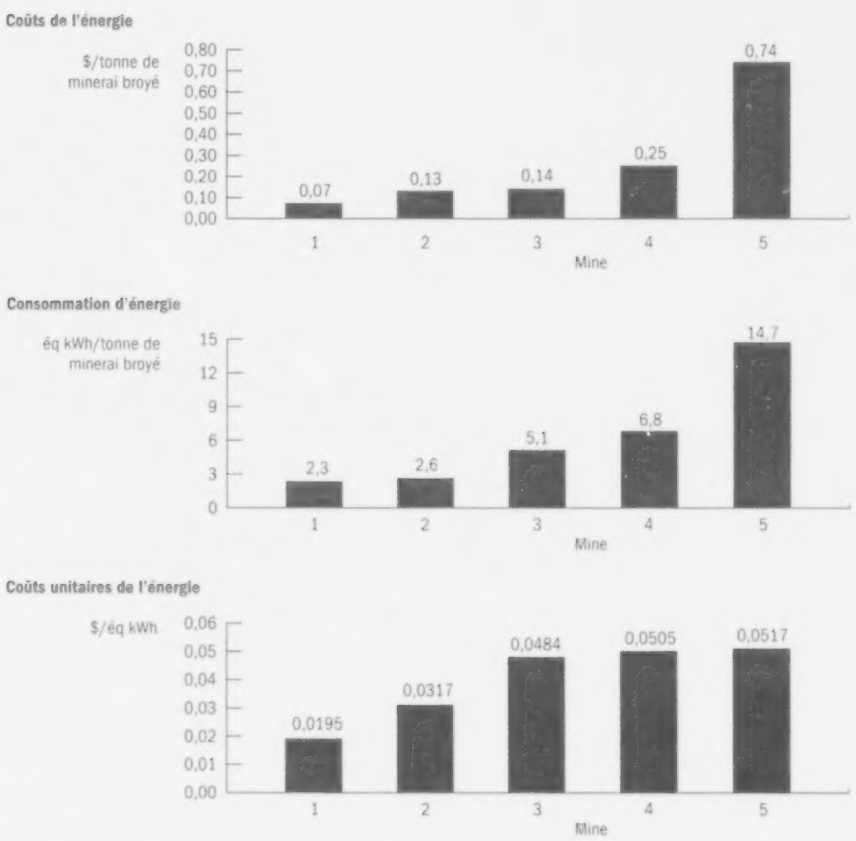
4.3.2 Coûts énergétiques : concentration – stade de production

Concassage

Les coûts énergétiques du concassage variaient de 0,07 $ à 0,74 $ par tonne de minerai broyé, comme l'illustre la figure 4.3.2. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne broyée)	0,74 : 0,07	1 057
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne broyée)	14,7 : 2,3	639
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0517 : 0,0195	265

Figure 4.3.2 – Coûts énergétiques : concassage

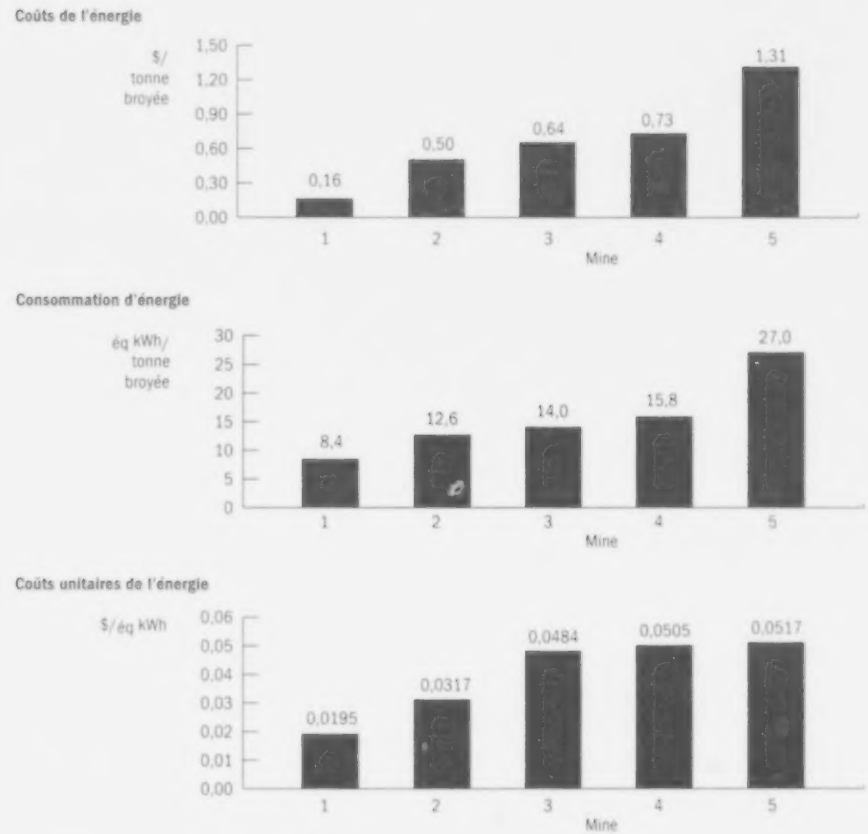


Broyage

Les coûts énergétiques du broyage variaient de 0,16 $ à 1,31 $ la tonne de minerai broyé, comme l'illustre la figure 4.3.3. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne broyée)	1,31 : 0,16	819
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne broyée)	27,0 : 8,4	321
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0517 : 0,0195	265

Figure 4.3.3 – Coûts énergétiques : broyage

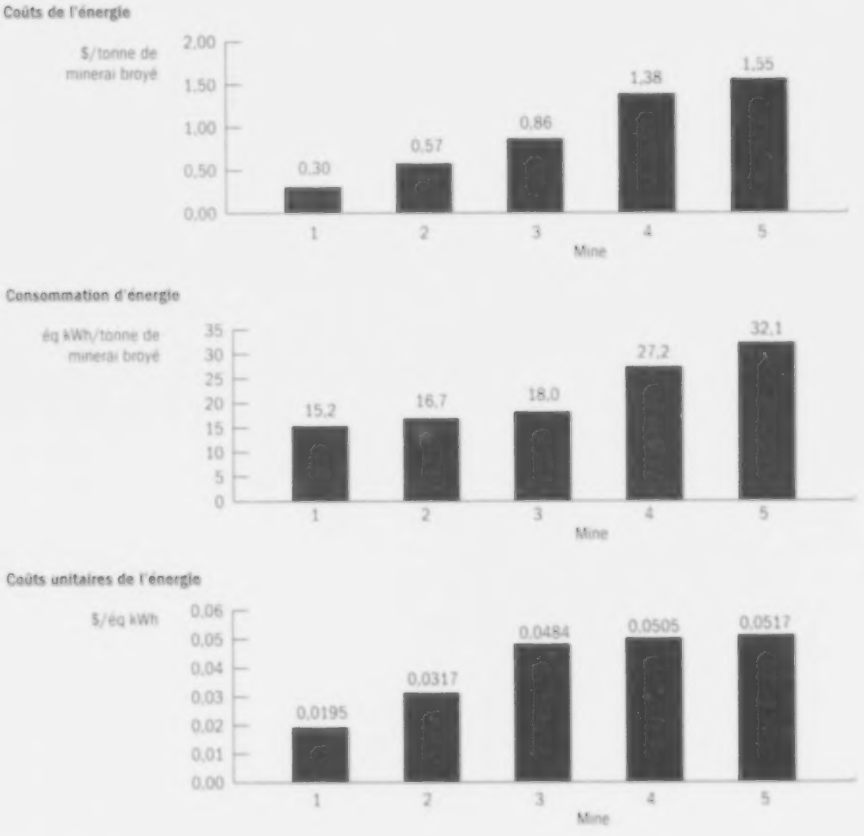


Concassage et broyage combinés

Les coûts énergétiques combinés du concassage et du broyage variaient de 0,30 $ à 1,55 $ la tonne de minerai broyé, comme l'illustre la figure 4.3.4. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne broyée)	1,55 : 0,30	517
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne broyée)	32,1 : 15,2	211
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0517 : 0,0195	266

Figure 4.3.4 – Coûts énergétiques : concassage et broyage

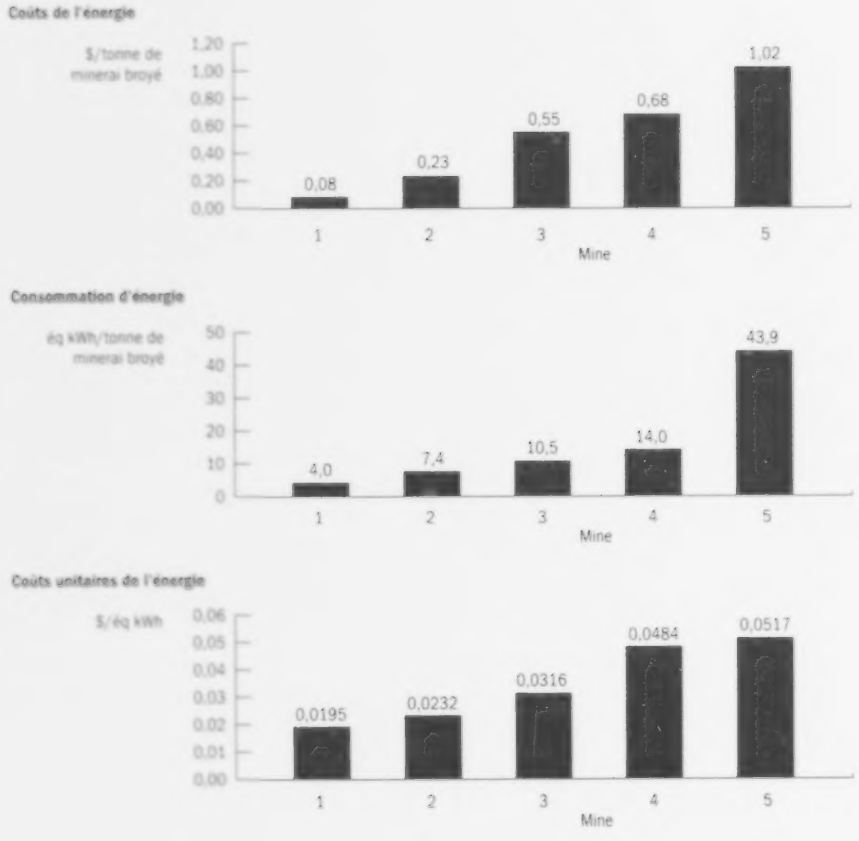


Séparation et flottation

Les coûts énergétiques de séparation et de flottation variaient de 0,08 $ à 1,02 $ la tonne de minerai broyé, comme l'illustre la figure 4.3.5. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne broyée)	1,02 : 0,08	1 275
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne broyée)	43,90 : 3,98	1 103
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0517 : 0,0195	265

Figure 4.3.5 – Coûts énergétiques : séparation et flottation



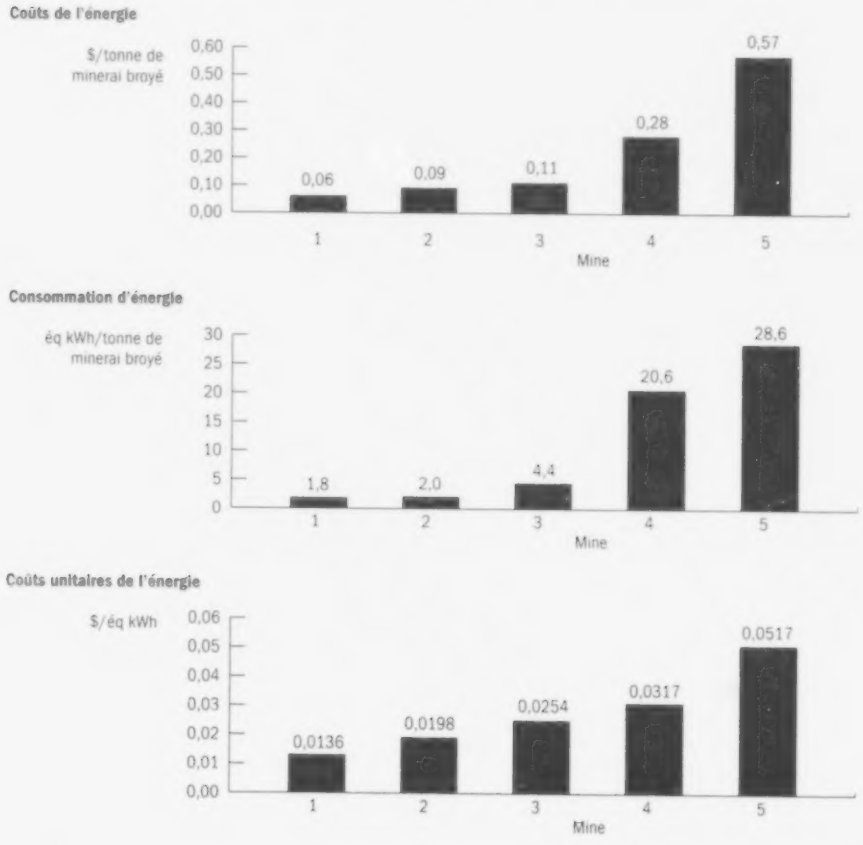
52

Épaississement, filtration et séchage

Les coûts énergétiques d'épaississement, de filtration et de séchage variaient de 0,06 $ à 0,57 $ la tonne de minerai broyé, comme l'illustre la figure 4.3.6. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne broyée)	0,57 : 0,06	950
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne broyée)	28,56 : 1,77	1 613
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0517 : 0,0136	392

Figure 4.3.6 – Coûts énergétiques : épaississement, filtration et séchage

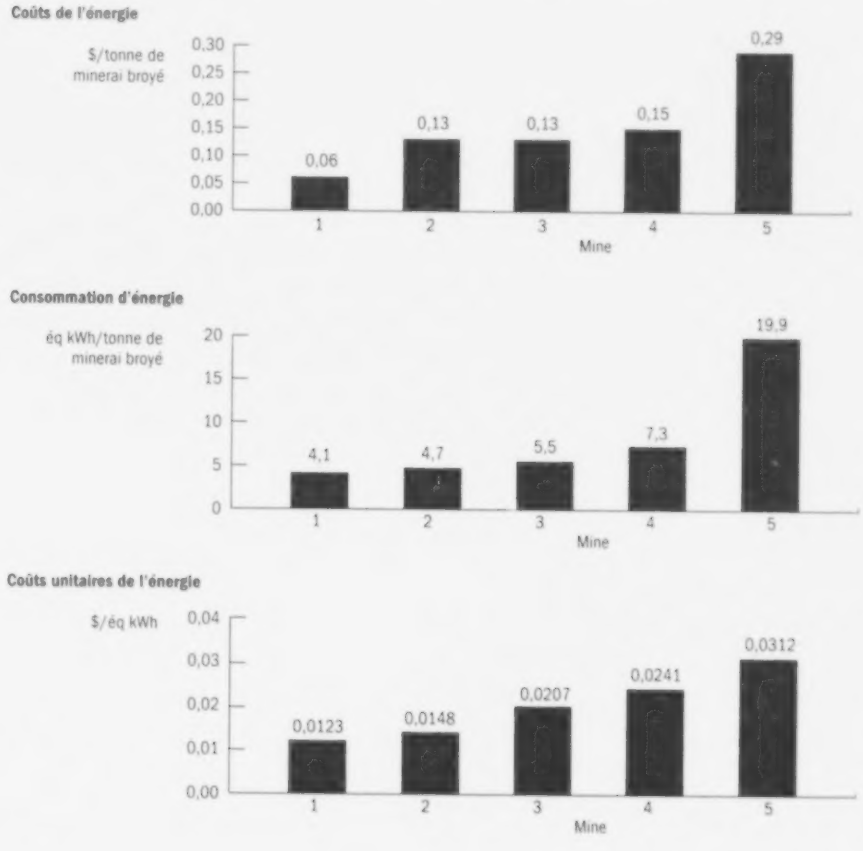


Chauffage et éclairage de l'usine

Les coûts énergétiques de chauffage et d'éclairage de l'usine variaient de 0,06 $ à 0,29 $ la tonne de minerai broyé, comme l'illustre la figure 4.3.7. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne broyée)	0,29 : 0,06	483
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne)	19,86 : 4,12	482
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0312 : 0,0123	254

Figure 4.3.7 – Coûts énergétiques : chauffage et éclairage de l'usine

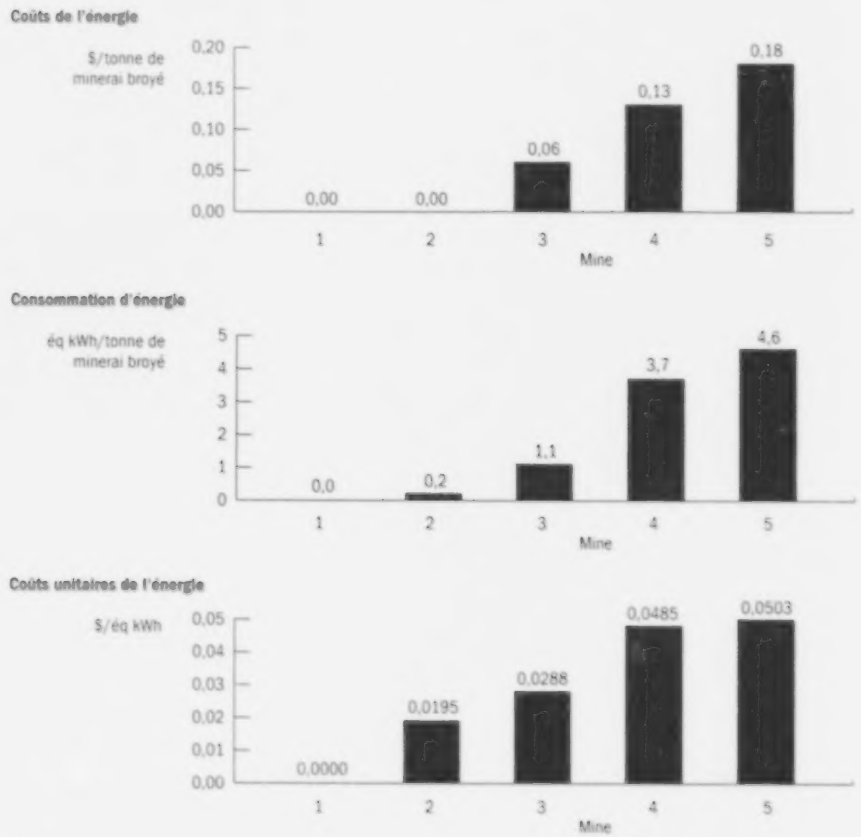


Activités de soutien de l'usine

Les coûts énergétiques des activités de soutien de l'usine variaient de 0,00 $ à 0,18 $ la tonne de minerai broyé, comme l'illustre la figure 4.3.8. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne broyée)	0,18 : 0,00	s.o.
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne broyée)	4,6 : 0,0	s.o.
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0503 : 0,0000	s.o.

Figure 4.3.8 – Coûts énergétiques : soutien de l'usine

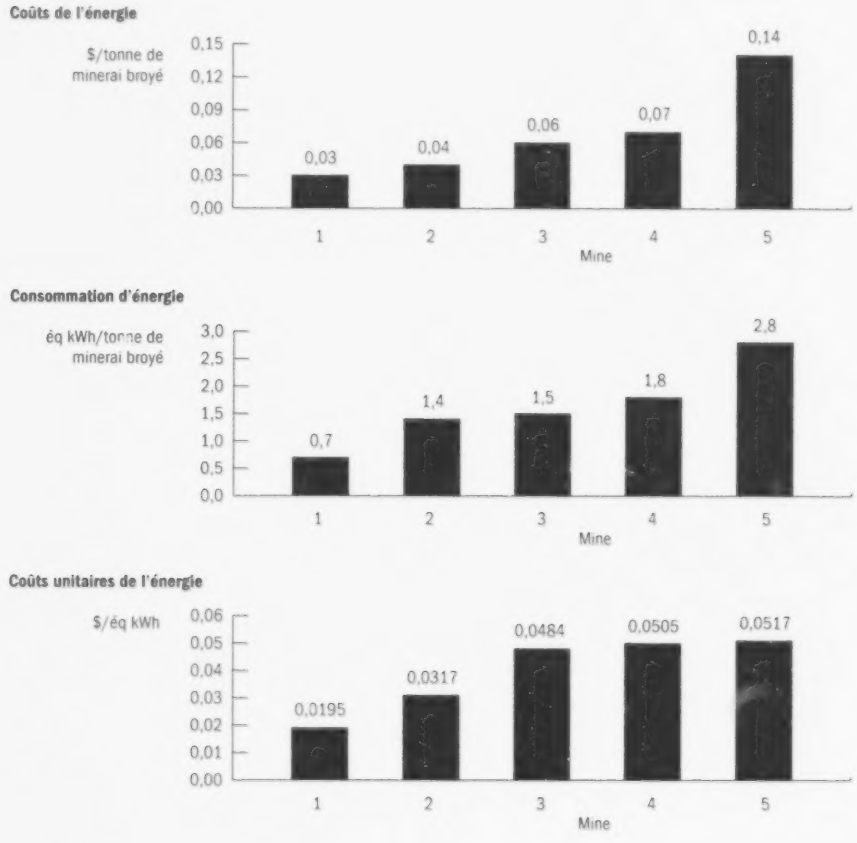


Élimination des résidus

Les coûts énergétiques de l'élimination des résidus variaient de 0,03 $ à 0,14 $ la tonne de minerai broyé, comme l'illustre la figure 4.3.9. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne broyée)	0,14 : 0,03	467
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne broyée)	2,79 : 0,68	410
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0517 : 0,0195	265

Figure 4.3.9 – Coûts énergétiques : élimination des résidus



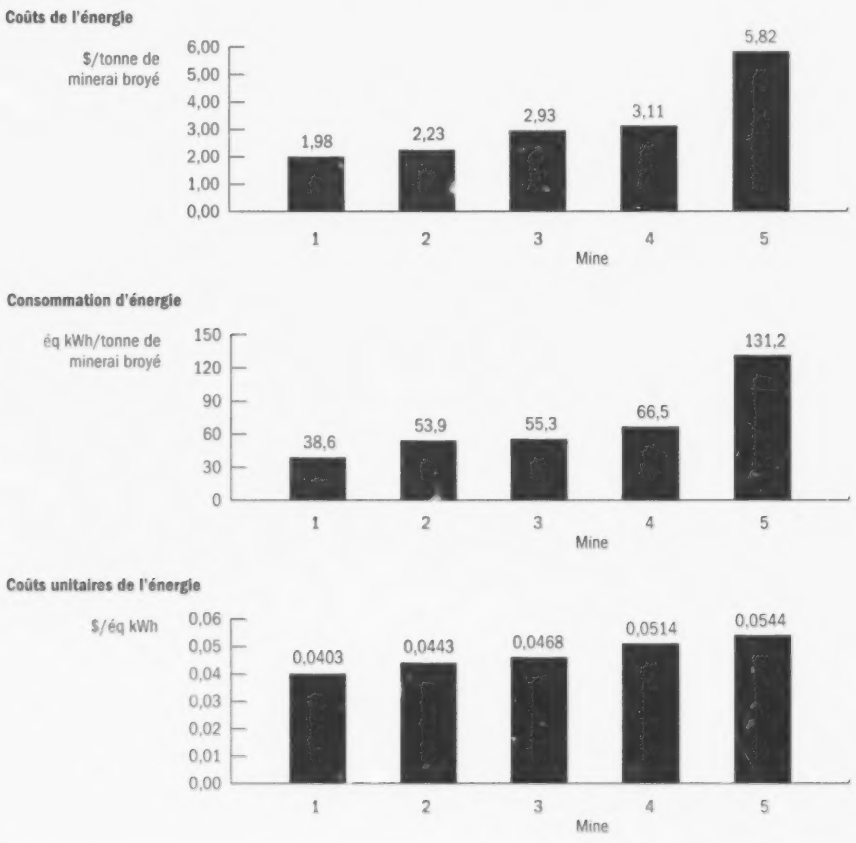
4.4 Opérations de récupération de l'or

4.4.1 Total des coûts énergétiques : récupération de l'or

Cinq installations de récupération de l'or sont comprises dans l'échantillon. Leurs coûts énergétiques ont été comparés sur la base des tonnes de minerai broyé. Comme le montre la figure 4.4.1, les coûts énergétiques unitaires de la récupération de l'or variaient de 1,98 $ à 5,82 $ la tonne broyée. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne broyée)	5,82 : 1,98	294
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne broyée)	131,16 : 38,61	340
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0544 : 0,0403	35

Figure 4.4.1 – Total des coûts énergétiques : récupération de l'or



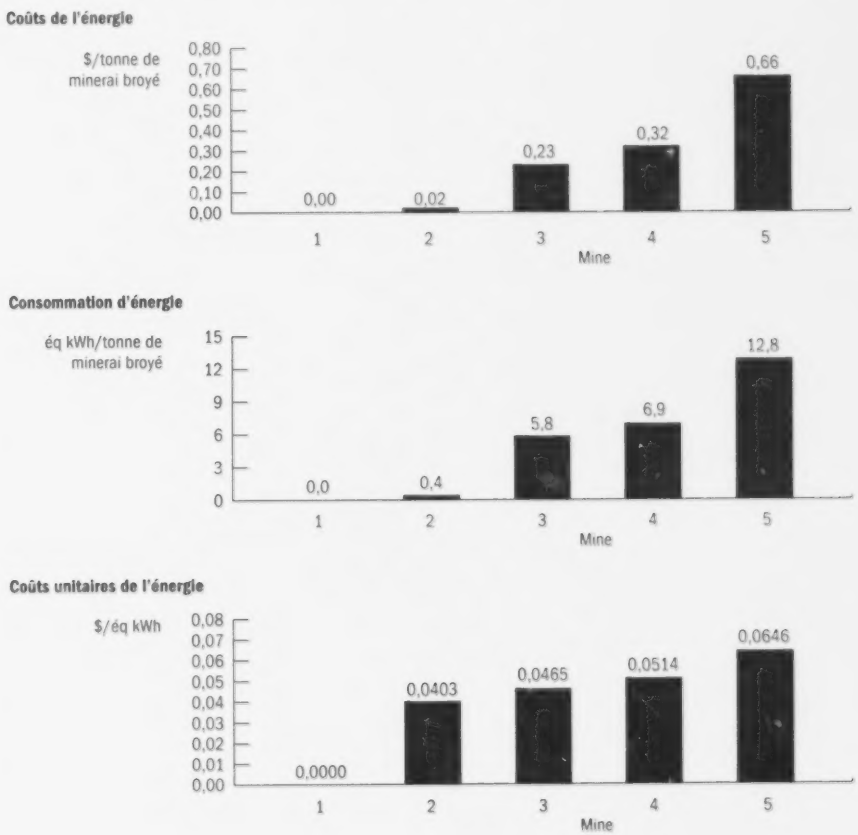
4.4.2 Coûts énergétiques : récupération de l'or – stade de production

Concassage

Les coûts énergétiques du concassage variaient de 0,00 $ à 0,66 $ la tonne broyée. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne broyée)	0,66 : 0,00	s.o.
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne broyée)	12,8 : 0,0	s.o.
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0646 : 0,0403	s.o.

Figure 4.4.2 – Total des coûts énergétiques : concassage

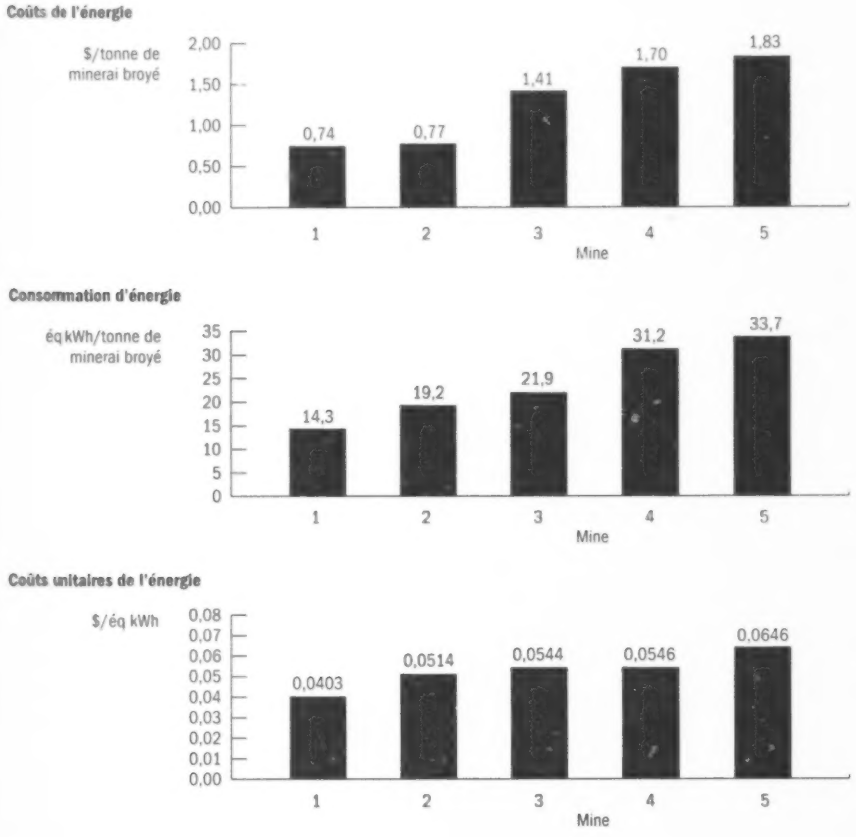


Broyage

Les coûts énergétiques du broyage variaient de 0,74 $ à 1,83 $ la tonne de minerai broyé. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne broyée)	1,83 : 0,74	247
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne broyée)	33,7 : 14,3	236
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0646 : 0,0403	160

Figure 4.4.3 – Total des coûts énergétiques : broyage

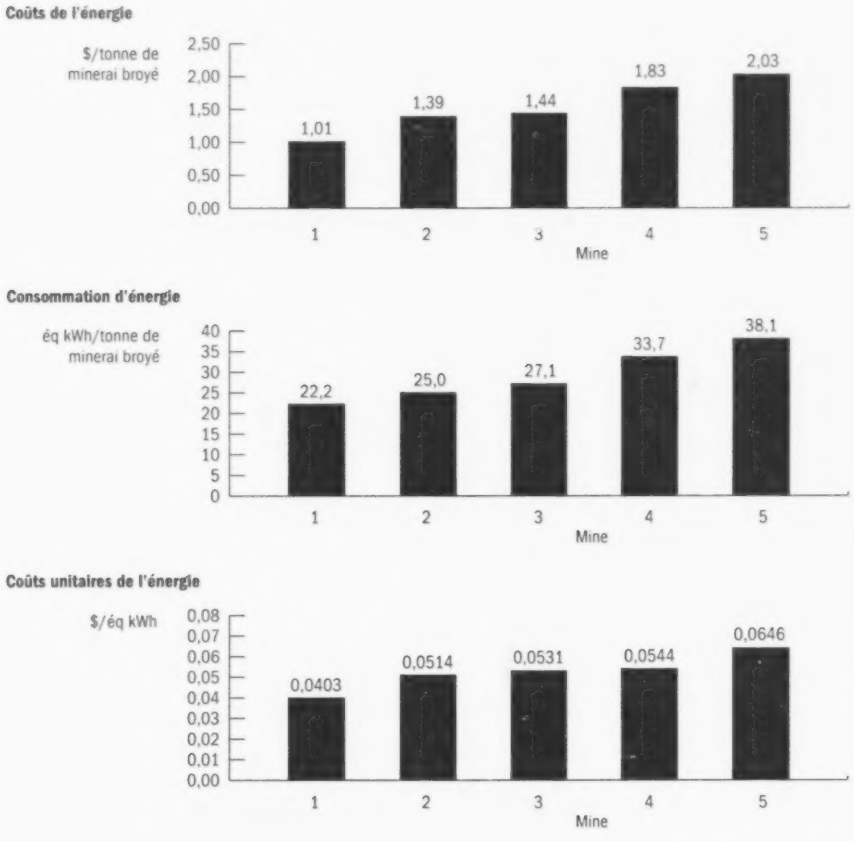


Concassage et broyage combinés

Les coûts énergétiques combinés du concassage et du broyage variaient de 1,01 $ à 2,03 $ la tonne broyée. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne broyée)	2,03 : 1,01	201
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne broyée)	38,1 : 22,2	172
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0646 : 0,0403	160

Figure 4.4.4 – Total des coûts énergétiques : concassage et broyage combinés

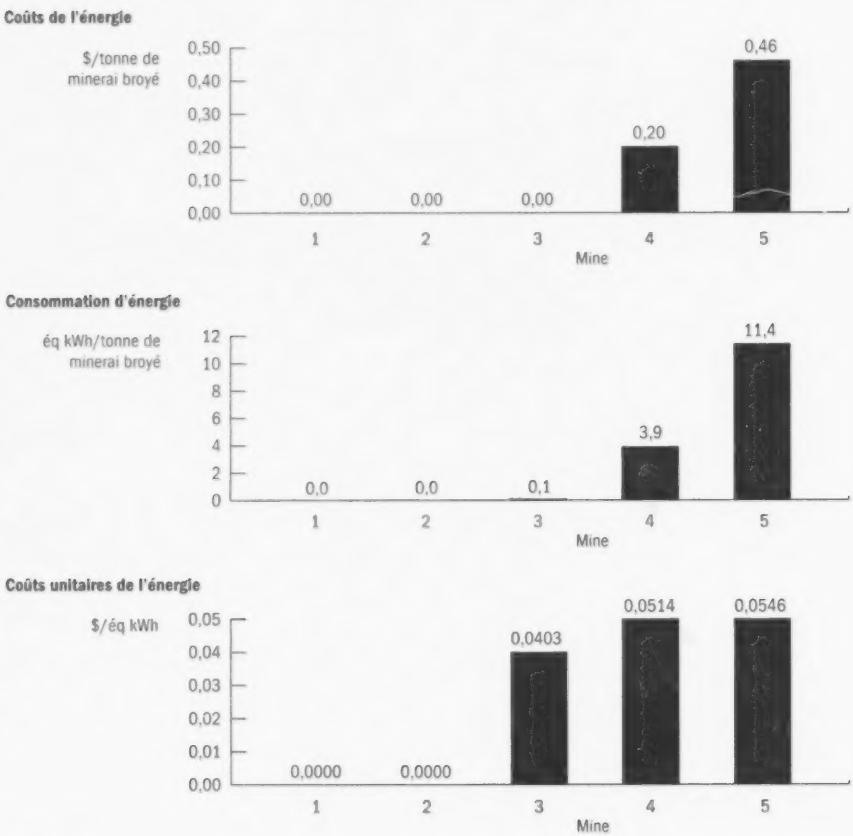


Séparation par gravité

Les coûts énergétiques de la séparation par gravité variaient de 0,00 $ à 0,46 $ la tonne de minerai broyé. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne broyée)	0,46 : 0,00	s.o.
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne broyée)	11,43 : 0,00	s.o.
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0546 : 0,0000	s.o.

Figure 4.4.5 – Total des coûts énergétiques : séparation par gravité

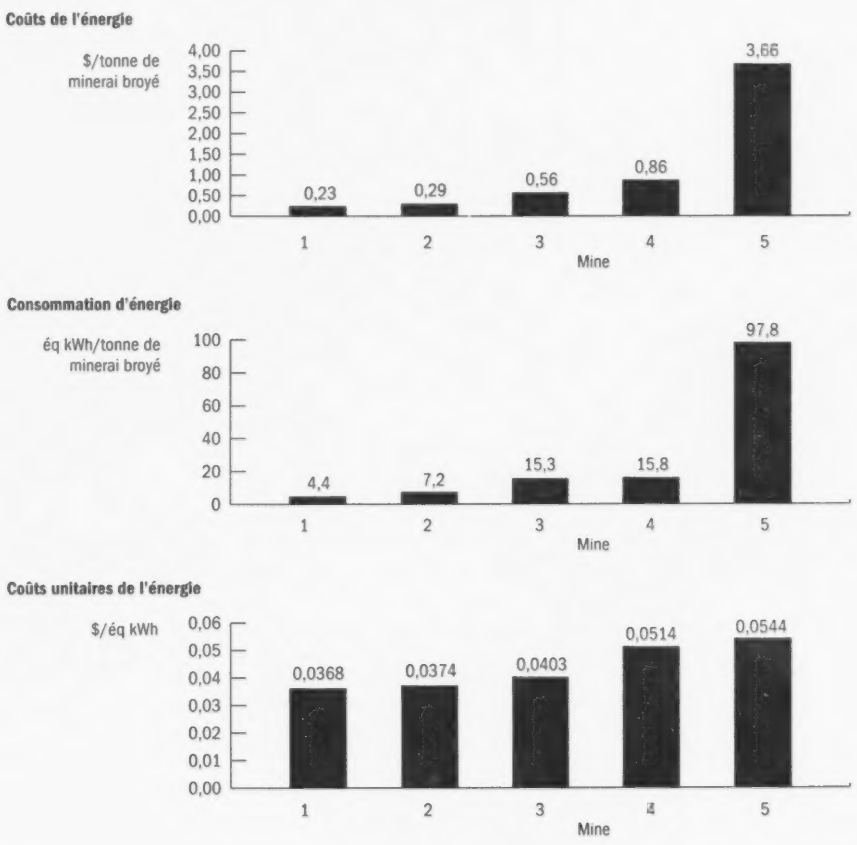


Extraction et affinage

Les coûts énergétiques de l'extraction et de l'affinage variaient de 0,23 $ à 3,66 $ la tonne de minerai broyé. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne broyée)	3,66 : 0,23	1 591
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne broyée)	97,77 : 4,43	2 207
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0544 : 0,0368	148

Figure 4.4.6 – Total des coûts énergétiques : extraction et affinage

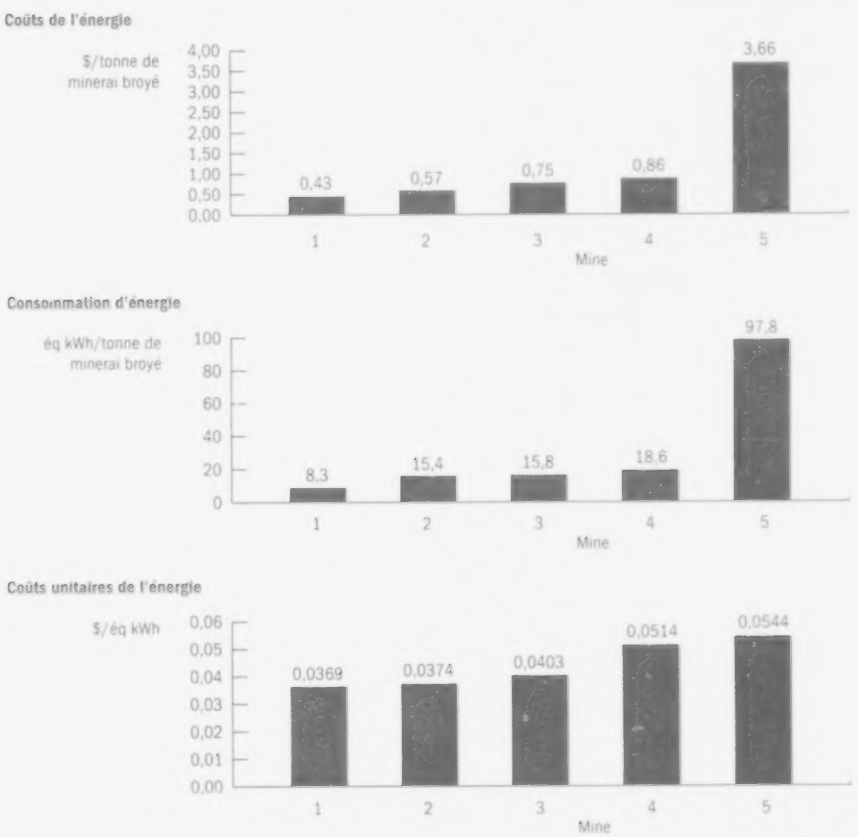


Séparation, extraction et affinage combinés

Les coûts énergétiques unitaires variaient de 0,43 $ à 3,66 $ la tonne de minerai broyé. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne broyée)	3,66 : 0,43	851
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne broyée)	97,77 : 8,28	1 180
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0544 : 0,0369	147

Figure 4.4.7 – Total des coûts énergétiques : séparation, extraction et affinage combinés

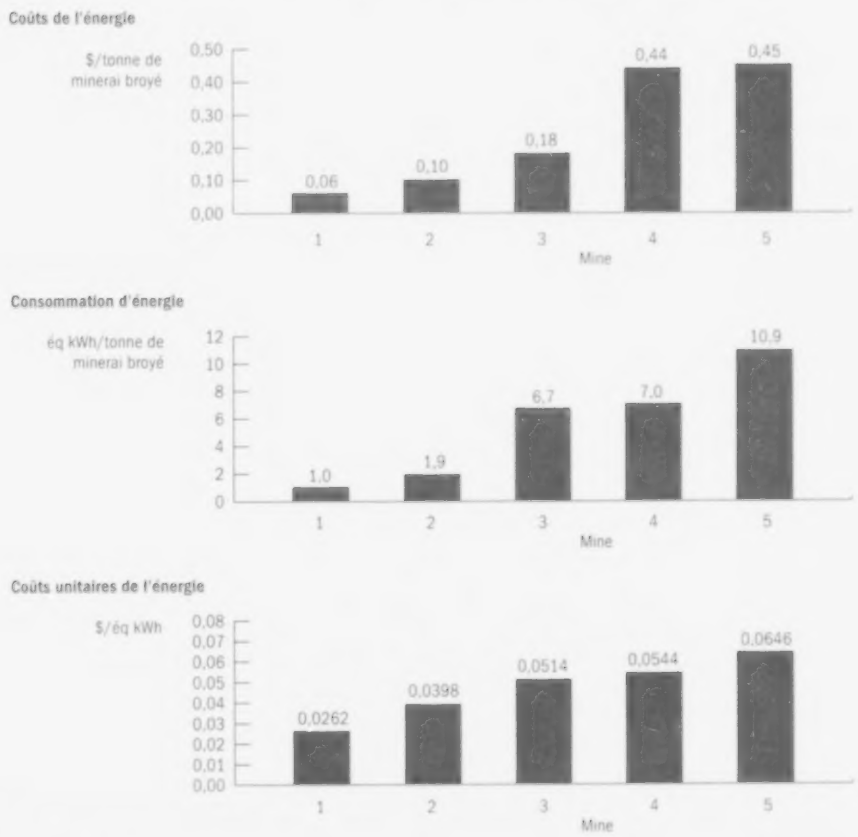


Chauffage et éclairage de l'usine

Les coûts énergétiques unitaires variaient de 0,06 $ à 0,45 $ la tonne de minerai broyé. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne broyée)	0,45 : 0,06	750
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne broyée)	10,93 : 1,05	1 041
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0646 : 0,0262	247

Figure 4.4.8 – Total des coûts énergétiques : chauffage et éclairage de l'usine

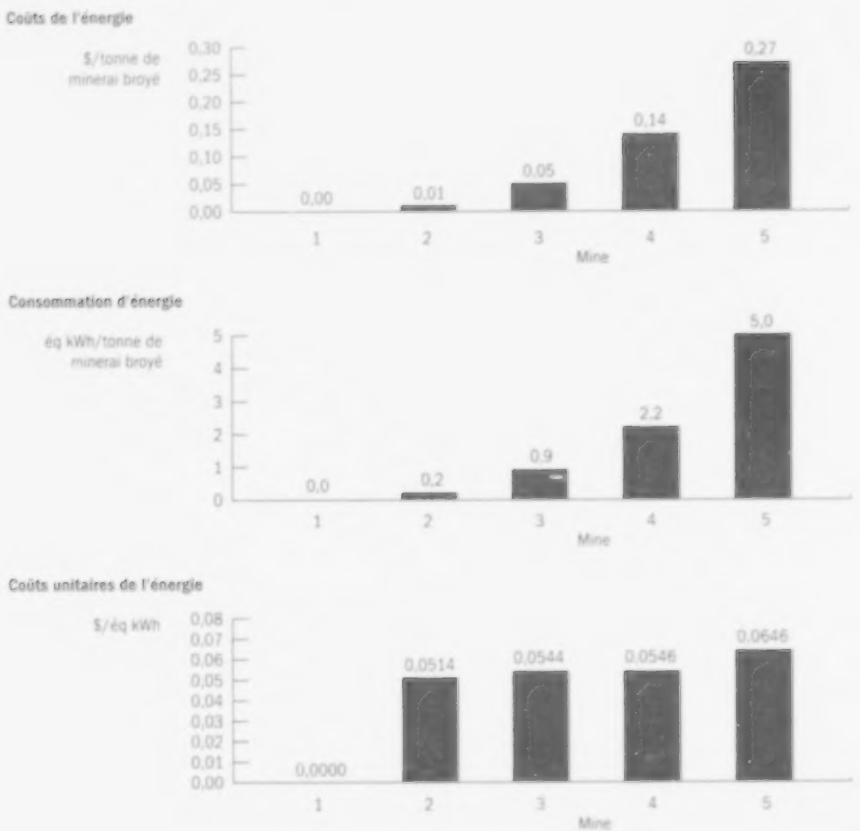


Élimination des résidus

Les coûts énergétiques unitaires variaient de 0,00 $ à 0,27 $ la tonne de minerai broyé. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne broyée)	0,27 : 0,00	s.o.
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne broyée)	5,0 : 0,0	s.o.
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0646 : 0,0000	s.o.

Figure 4.4.9 - Total des coûts énergétiques : élimination des résidus

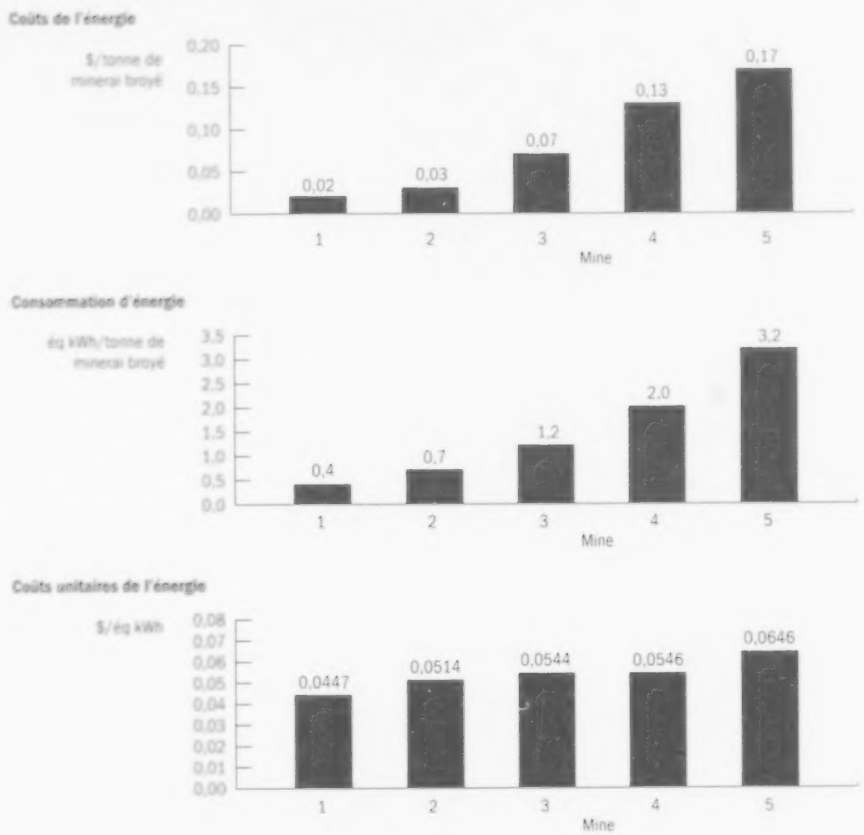


Activités de soutien de l'usine

Les coûts énergétiques unitaires variaient de 0,02 $ à 0,17 $ la tonne de minerai broyé. La gamme des coûts et des rendements se présente comme suit :

	Gamme Haut : Bas	Haut : Bas Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/tonne broyée)	0,17 : 0,02	850
Consommation d'énergie (éq kWh/tonne broyée)	3,17 : 0,37	857
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,0646 : 0,0447	145

Figure 4.4.10 - Total des coûts énergétiques : élimination des résidus



5

ÉCONOMIES POTENTIELLES : ATTEINDRE LES NIVEAUX REPÈRES

5. ÉCONOMIES POTENTIELLES : ATTEINDRE LES NIVEAUX REPÈRES

5.1 Contexte

Les comparaisons au chapitre 4 établissent un lien entre les coûts et les rendements énergétiques de tous les participants avec ceux dont les coûts sont les plus faibles et ceux qui obtiennent les meilleurs rendements (c.-à-d., les ratios éq kWh/unité de production les plus faibles). Dans le présent chapitre, nous présentons des estimations générales des économies qui seraient engendrées en faisant correspondre le rendement de chaque établissement à celui de l'établissement dont le coût est le moins élevé pour les opérations les plus efficaces. À noter, cependant, que ces estimations pourraient s'avérer basses – voire très basses – pour un certain nombre de raisons :

- D'abord, il existe des possibilités d'améliorer les installations à moindre coût et les installations les plus efficaces. Le fait que l'entreprise de tête varie d'un stade de production à l'autre confirme le potentiel d'amélioration.

- Ensuite, il pourrait exister des installations en dehors de l'échantillon étudié qui affichent des coûts moindres ou une plus grande efficacité.

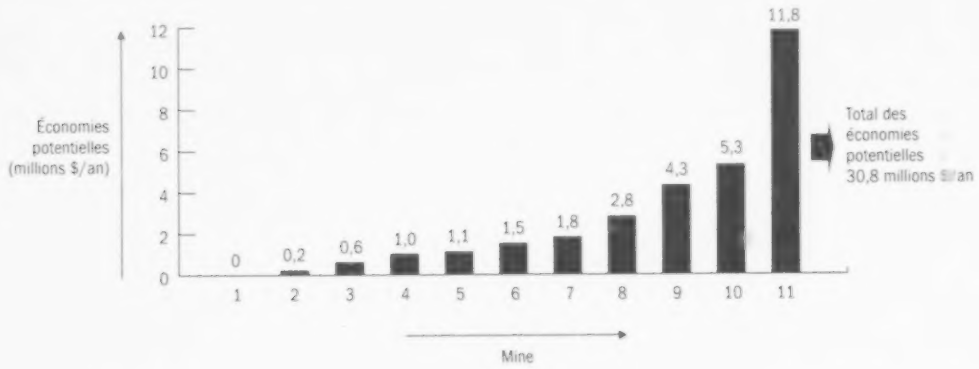
Dans ce chapitre, nous présentons des économies potentielles estimatives pour les participants, en fonction d'une comparaison des coûts de chacun avec ceux au coût le plus faible. Les comparaisons sont établies dans les cas de l'exploitation minière (tant des mines d'or que des mines de métaux de base), de la concentration (métaux de base) et de la récupération de l'or. D'une part, les estimations peuvent être trop basses pour les motifs énoncés ci-dessus. D'autre part, elles peuvent être trop élevées, car les économies peuvent être inatteignables pour des raisons pratiques. Notons que la valeur des économies potentielles peut diverger de façon importante d'un procédé de récupération de l'or à un autre.

Indépendamment des limites mentionnées ci-dessus, il est clair que les économies potentielles sont très élevées. Ci-après, nous présentons une estimation simpliste de ces économies, calculée en faisant correspondre le coût de toutes les installations à celles qui affichent les coûts énergétiques moindres.

5.2 Exploitation minière : économies énergétiques potentielles

Les coûts énergétiques de l'exploitation minière varient de 3,25 $ à 7,61 $ la tonne de minerai extrait. En supposant que les 11 établissements puissent atteindre des coûts de 3,25 $ la tonne, le total des économies potentielles pour chaque mine apparaît comme suit :

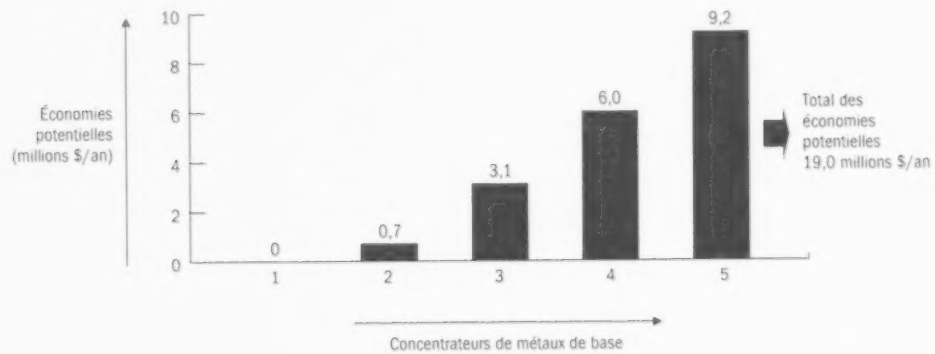
Figure 5.1 – Exploitation minière : économies potentielles – niveau repère (millions $/an)



5.3 Économies potentielles : concentration

Les coûts énergétiques des cinq usines étudiées variaient de 0,64 $ à 3,35 $ la tonne de minerai broyé. On estime les économies maximales à 19,0 millions $ par an. Voici la répartition des économies parmi les participants :

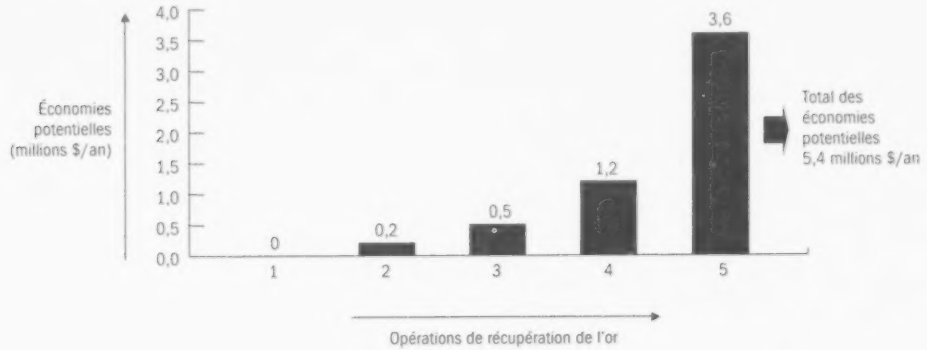
Figure 5.2 – Concentration : économies potentielles – niveau repère



5.4 Économies potentielles : récupération de l'or

Les coûts énergétiques des cinq installations de récupération de l'or étudiées variaient de 2,00 $ à 5,81 $ la tonne de minerai broyé. Le total des économies potentielles se situe à environ 5,4 millions de dollars par an, comme l'illustre la figure ci-dessous.

Figure 5.3 – Récupération de l'or : économies potentielles – niveau repère



Toutefois, une mise en garde s'impose ici. De par leur nature même, les procédés de récupération de l'or diffèrent beaucoup quant à leurs besoins énergétiques. Par exemple, le durcissement en autoclave et le grillage oxygéné consomment d'énormes quantités d'électricité. Si les participants ont recours à ces procédés, les économies potentielles pourraient s'avérer, dans la pratique, inférieures à celles illustrées ci-dessus.

ANNEXE

ANNEXE 2-1 – MINES SOUTERRAINES INCLUSES DANS L'ÉCHANTILLON

OR

PAYS	MINE	ENTREPRISE
Australie	Agnew	WMC Limited
Australie	Beaconsfield	Allstate/Beaconsfield
Australie	Bronzewing	Great Central Mines
Australie	Henty	Gold Fields Ltd.
Australie	Kanowna Belle	Delta Gold Ltd.
Australie	Lawlers	Homestake Mining Company
Australie	Mount Charlotte	Homestake Mining Company
Australie	New Celebration	Newcrest Mining Limited
Australie	Pajingo	Battle Mountain/Normandy
Australie	Peak Gold	Rio Tinto
Australie	Wiluna	Great Central Mines
Canada	Bousquet Complex	Barrick Gold Corp.
Canada	Campbell	Placer Dome Inc.
Canada	David Bell	Homestake Mining Company
Canada	Detour Lake	Placer Dome Inc.
Canada	Doyon	Cambior Inc.
Canada	Golden Giant	Battle Mountain Gold
Canada	Holloway	Battle Mountain Gold
Canada	Holt-McDermott	Barrick Gold Corp.
Canada	Hoyle Pond	Kinross Gold Corporation
Canada	Joe Mann	Campbell Resources
Canada	LaRonde	Agnico-Eagle Mines Ltd.
Canada	Kiena	McWatters Mining Inc.
Canada	Musselwhite	Placer Dome Inc.
Canada	Williams	Homestake Mining Company / Teck Corporation

OR (suite)

PAYS	MINE	ENTREPRISE
Afrique du Sud	Bambanani	Anglogold Ltd.
Afrique du Sud	Beatrix	Gold Fields Ltd.
Afrique du Sud	Blyvooruitzicht	Durban Roodepoort Deep Ltd.
Afrique du Sud	Buffelsfontein	Durban Roodepoort Deep Ltd.
Afrique du Sud	Deelkraal	Anglogold Ltd.
Afrique du Sud	Driefontein Consol.	Gold Fields Ltd.
Afrique du Sud	Elandsrand	Anglogold Ltd.
Afrique du Sud	ERPM	East Rand Proprietary Mines
Afrique du Sud	ET Consolidated	Avgold Limited
Afrique du Sud	Evander	Harmony Gold Mining Company Ltd.
Afrique du Sud	Great Noligwa	Anglogold Ltd.
Afrique du Sud	Harmony	Harmony Gold Mining Company Ltd.
Afrique du Sud	Hartebeestfontein	Durban Roodepoort Deep Ltd.
Afrique du Sud	Joel	Anglogold Ltd.
Afrique du Sud	Kloof Division	Gold Fields Ltd.
Afrique du Sud	Kopanang	Anglogold Ltd.
Afrique du Sud	Leeudoorn Division	Gold Fields Ltd.
Afrique du Sud	Libanon Division	Gold Fields Ltd.
Afrique du Sud	Matjhabeng	Anglogold Ltd.
Afrique du Sud	Mponeng	Anglogold Ltd.
Afrique du Sud	Oryx	Gold Fields Ltd.
Afrique du Sud	Savuko	Anglogold Ltd.
Afrique du Sud	St. Helena	Gold Fields Ltd.
Afrique du Sud	Tau Lekoa	Anglogold Ltd.
Afrique du Sud	Tau Tona	Anglogold Ltd.
Afrique du Sud	Tshepong	Anglogold Ltd.
Afrique du Sud	Western Areas	Placer Dome Inc.
États-Unis	Getchell	Placer Dome Inc.
États-Unis	Homestake	Homestake Mining
États-Unis	Ken Snyder	Franco-Nevada Mining
États-Unis	Kettle River	Echo Bay Mines Limited
États-Unis	Meikle	Barrick Gold Corp.

CUIVRE

PAYS	MINE	ENTREPRISE
Australie	Mount Isa	MIM Holdings Ltd.
Australie	Mount Lyell	Sterlite Industries
Australie	Northparkes	North Ltd. / Sumitomo Corporation
Australie	Olympic Dam	WMC Ltd.
Australie	Osborne	Placer Dome Inc.
Canada	Hudson Bay Complex	Anglo American PLC
Canada	Kidd Creek	Falconbridge Limitée
Canada	Louvicourt	Novicourt Inc. / Aur Resources Inc. / Noranda Inc. / Teck Corporation
Canada	Myra Falls	Boliden Ltd.
Canada	Sudbury	Falconbridge Limitée
Chili	El Indio	Barrick Gold
Chili	El Teniente	CODELCO
Chili	Michilla	Luksic Group
Chili	Salvador	CODELCO

PLOMB ET ZINC

PAYS	MINE	ENTREPRISE
Australie	Broken Hill	Pasminco Limited
Australie	Cadjebut	Western Metals Ltd.
Australie	Cannington	BHP Minerals (Broken Hill)
Australie	Golden Grove	Normandy Mining
Australie	Elura	Pasminco Limited
Australie	Hellyer	Aberfoyle Ltd.
Australie	McArthur River	MIM Holdings Ltd. (McArthur)
Australie	Mount Isa-Hilton	MIM Holdings Ltd. (Mount Isa)
Australie	Pillara	Western Metals Ltd.
Australie	Rosebery	Pasminco Limited
Australie	Woodcutters	Normandy Mining

PLOMB ET ZINC (suite)

PAYS	MINE	ENTREPRISE
Canada	Bouchard-Hébert	Breakwater Resources Ltd.
Canada	Brunswick	Noranda Inc.
Canada	Heath Steele	Noranda Inc.
Canada	Hudson Bay Complex	Anglo American PLC
Canada	Kidd Creek	Falconbridge Limitée
Canada	Langlois	Breakwater Resources Ltd.
Canada	Mines Matagami	Noranda Inc.
Canada	Myra Falls	Boliden Ltd.
Canada	Nanisivik	Breakwater Resources Ltd.
Canada	Polaris	Cominco
Canada	Sullivan	Cominco
Pérou	Atacocha	Minera Atacocha
Pérou	Cerro de Pasco	Centromin
Pérou	Iscaycruz	Glencore International AG/Minero
Pérou	Milpo/El Porvenir	Minera Milpo
Pérou	Quiruvilca	Minera Nor Peru
Pérou	San Vicente	Minera San Ignacio de Morococha
États-Unis	Brushy Creek/Buick/ Fletcher/Viburnum	Doe Run Co. / The Renco Group
États-Unis	Gordonsville	Pasminco Limited
États-Unis	Greens Creek	Rio Tinto / Hecla Mining Co.
États-Unis	Lucky Friday	Hecla Mining Co.
États-Unis	Sweetwater	Doe Run Co. / The Renco Group
États-Unis	Tennessee Mines	ASARCO
États-Unis	West Fork	Doe Run Co. / The Renco Group